



Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil



Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil



Outubro de 2009

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

ISBN 978-85-60755-15-8

Presidenta

Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Equipe técnica do CGEE neste projeto /*Marcelo Khaled Poppe / Ana Carolina Silveira Perico*

Edição / *Tatiana de Carvalho Pires*

Revisão / *Ana Cristina de Araújo Rodrigues*

Projeto gráfico / *André Scofano / Eduardo Oliveira*

Diagramação / *Hudson Pereira*

Capa / *Roberta Bontempo*

C389b

Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil - Brasília, DF :
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

536 p.: il.; 24 cm

ISBN - 978-85-60755-15-8

1. Bioetanol. 2. Combustível. 3. Oportunidade para o Brasil. I. CGEE.
II. Unicamp. III. Título

CDU 351.797

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE/MCT/2005.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Impresso em 2009

Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil

Equipe técnica - NIPE/UNICAMP

Coordenador

Rogério Cezar de Cerqueira Leite

Vice-coordenadores

Manoel Sobral Júnior (fase 1)

Manoel Regis Lima Verde Leal (fases 1 e 2)

Luís Augusto Barbosa Cortez (fases 2 e 3)

Pesquisadores responsáveis

André Tosi Furtado

Arnaldo César da Silva Walter

Carlos Eduardo Vaz Rossell

Edgardo Olivares Gómez

Francisco Rosillo-Calle

Gilberto de Martino Jannuzzi

José Antonio Scaramucci

Jorge Humberto Nicola

Oscar Braunbeck

Marcelo Pereira da Cunha

Mirna Ivonne Gaya Scandiffio

Sérgio Valdir Bajay

Colaboradores

Adriano Viana Ensinas

Alexandre Frayse David

Claudia Campos de Araújo

Daniel Catoia Quintiliano

Daniele Urioste

Efraim Albrecht
Gislaine Zainaghi
Isis Maria Ditrich Demario Fujij
Janáina Garcia de Oliveira
Juan Castaneda Ayarza
Juliana Marinho Cavalcanti Martins
Márcio Michelazzo
Maria Alexandra Silva Nunes Agarussi
Mike Griffin
Orlando Frederico José Godoy Bordoni
Rodolfo Gomes
Tatiana Petrauskas
Terezinha de Fátima Cardoso

Editores (adaptação dos textos e dados dos relatórios visando à edição do livro)

Luís Augusto Barbosa Cortez
Manoel Regis Lima Verde Leal
Marcelo Khaled Poppe
Marcelo Pereira da Cunha

Entidades que colaboraram no projeto

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)
Agência Brasileira de Exportação (Apex)
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)
Chaves Planejamento e Consultoria Ltda.
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa)
Empresa Brasileira de Petróleo (Petrobras)
Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS)
Geoconsult - Consultoria, Geologia e Meio Ambiente Ltda.
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa)
Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT)
Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)
Petrobras Transporte S/A (Transpetro)
Dedini S/A Indústrias de Base
União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica)
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Especial agradecimento ao CTC e à Transpetro pelas ações ativas e valiosas nos trabalhos realizados, pois sem as mesmas a realização do projeto não teria sido possível.

Lista de figuras

| | | |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 2-1: | Localização das usinas de açúcar e bioetanol no Brasil | 41 |
| Figura 2-3: | Localização das novas usinas previstas (em amarelo) | 45 |
| Figura 2-9: | Treminhão | 58 |
| Figura 2-10: | Rodotrem | 59 |
| Figura 2-11: | Composições com cinco e seis reboques | 59 |
| Figura 2-12: | Alternativas para a recuperação do palhiço | 61 |
| Figura 2-13: | Recuperação do palhiço com separação no campo e na usina | 62 |
| Figura 2-14: | Sistemas de recuperação e armazenamento do palhiço | 64 |
| Figura 2-16: | Número de passadas de pneus nas entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar na mecanização convencional com controle de tráfego | 73 |
| Figura 2-17: | Número de passadas de pneus nas entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar no esquema de mecanização com estruturas de tráfego controlado (ETC) | 74 |
| Figura 2-18: | Etapas do processo de alimentação da colhedora de cana picada | 78 |
| Figura 2-19: | Modos de operação direcional do veículo com direção nas quatro rodas | 79 |
| Figura 3-1: | Processamento da cana para a produção conjunta de açúcar e etanol | 98 |
| Figura 3-2: | Esquema do processo de produção de etanol | 103 |
| Figura 3-3: | Tela do programa mostrando o fluxograma completo do sistema de cogeração | 119 |
| Figura 3-4: | Fluxograma simplificado do processo DHR (DEDINI, 2006) | 138 |
| Figura 3-5: : | Processo IOGEN | 141 |
| Figura 3-5: | Processo de hidrólise anexo à destilaria padrão | 149 |
| Figura 3-6: | Representação esquemática de um sistema BIG-CC | 157 |
| Figura 3-9: | Integração parcial de um sistema BIG-CC a uma usina de açúcar e etanol | 165 |
| Figura 4-1: | Principais áreas com restrição ambiental e declividade | 179 |
| Figura 4-2: | Diversidade de tipos de solos no Brasil | 180 |
| Figura 4-3: | Distribuição dos tipos climáticos no Brasil | 181 |

| | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4-4: | Aptidão para a produção de cana em função do tipo de solo | 182 |
| Figura 4-5: | Aptidão para a produção de cana em função do clima | 183 |
| Figura 4-6: | Mapa do potencial das áreas para produção de cana-de-açúcar sem irrigação | 184 |
| Figura 4-7: | Mapa do potencial das áreas para produção de cana-de-açúcar com irrigação de salvação | 185 |
| Figura 4-8: | Mapa com as dezessete áreas selecionadas para a expansão da produção de cana-de-açúcar | 188 |
| Figura 4-9: | Localização da Área 10 (em vermelho) no mapa do Brasil | 197 |
| Figura 4-10: | Detalhe da localização da Área 10 nos estados do Tocantins, Maranhão e Piauí (hachuras em vermelho) | 197 |
| Figura 4-11: | Área 10 - Potencial Climático – Classificação Köppen | 201 |
| Figura 4-12: | Área 10 – Potencial de solos | 206 |
| Figura 4-13: | Área 10 - Potencial de Produção de cana-de-açúcar | 208 |
| Figura 4-14: | Área 10 - Declividade e outras reservas | 209 |
| Figura 5-2: | Porto Vila do Conde e Eclusa de Tucuruí (PA) | 228 |
| Figura 5-3: | Desenho logístico para exportação – Ano 10 (2015) | 233 |
| Figura 5-4: | Desenho logístico para exportação de 205 bilhões de litros – Ano 20 (2025) | 236 |
| Figura 5-5: | Porto Vila do Conde (PA) | 240 |
| Figura 5-6: | Porto de Itaqui | 242 |
| Figura 5-7: | Porto de São Sebastião | 244 |
| Figura 5-8: | Vista do Porto de Santos | 246 |
| Figura 6-3: | Regiões com maior potencial de produção de eletricidade excedente (identificadas em amarelo) | 283 |
| Figura 7-1: | O modelo de insumo-produto | 306 |
| Figura 7-2: | Estrutura da matriz inter-regional usada no modelo | 330 |
| Figura 7-3: | Mapa do IDH dos municípios brasileiros | 354 |
| Figura 8-1: | Esquema geral da Análise Ambiental Estratégica proposta | 387 |
| Figura 8-2: | Análise de sustentabilidade da cadeia de produção, distribuição e uso do etanol | 390 |

| | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 8-3: | Balanço das emissões de CO ₂ eq.(kg CO ₂ eq./m ³ de etanol) | 393 |
| Figura 8-4: | Balanço de CO ₂ na cadeia produtiva da cana-de-açúcar e bioetanol e uso do bioetanol (t de CO ₂ eq./m ³ de etanol) | 394 |
| Figura 8-5: | Uso de fertilizantes na cana planta (g/m ³ etanol) | 397 |
| Figura 8-6: | Uso de defensivos agrícolas (mg/m ³ etanol) | 403 |
| Figura 9-1: | Número de postos combustíveis que fornecem o E85 nos estados americanos | 447 |
| Figura 9-2: | Estados norte-americanos com incentivo para a produção de etanol | 448 |
| Figura 9-3: | Importação de bioetanol brasileiro pelos EUA via países do CBI | 453 |
| Figura 9-4: | Áreas potenciais para a produção de cana-de-açúcar e sorgo sacarino na África | 462 |
| Figura 9-5: | Países do Sudeste da África que integram o SADC | 464 |

Lista de gráficos

| | | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 2-2: | Evolução da produção brasileira de cana, açúcar e etanol | 44 |
| Gráfico 2-4: | Evolução do uso de variedades de cana no Brasil | 49 |
| Gráfico 2-5: | Variação da produtividade agrícola e teor de sacarose entre usinas | 52 |
| Gráfico 2-6: | Evolução da produtividade regional de cana no Brasil | 53 |
| Gráfico 2-7: | Evolução da colheita de cana sem queima prévia, cana crua, em São Paulo e Centro-Sul | 54 |
| Gráfico 2-8: | Colheita mecânica e colheita de cana sem queima prévia – Safra 2008/09 – dados até junho/2008 | 55 |
| Gráfico 2-15: | Produtividade da cana de 18 meses em Plantio Direto e Convencional | 70 |
| Gráfico 3-7: | Custo da eletricidade gerada, em cenário atual, com gás natural a 3,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 1,20 US\$/GJ | 163 |
| Gráfico 3-8: | Custo da eletricidade gerada em cenário de médio prazo, com gás natural a 5,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 2,00 US\$/GJ | 163 |
| Gráfico 5-1: | Comparativo da Matriz de Transporte de Cargas 2007 | 226 |
| Gráfico 6-1: | Composição da Frota de Veículos Leves – Brasil | 268 |
| Gráfico 6-2: | Evolução da Produção e Exportação de Açúcar | 271 |

| | | |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 6-4: | Relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) no cenário “Tecnologia Progressiva” | 285 |
| Gráfico 6-5: | Participação dos investimentos para viabilizar o cenário de exportação de bioetanol em relação ao investimento anual do País e ao PIB (cenário tecnológico “Tecnologia Progressiva”) | 286 |
| Gráfico 6-6: | Estimativa dos custos de produção de bioetanol em horizonte de 5-20 anos | 292 |
| Gráfico 7-4: | Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção | 368 |
| Gráfico 7-5: | Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos | 370 |
| Gráfico 7-6: | Figura 7.9-3: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB | 372 |
| Gráfico 10-1: | Investimento do Brasil em P&D em relação ao PIB | 513 |

Lista de quadros

| | | |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 3-1: | Desempenho do processo DHR em escala piloto | 137 |
| Quadro 7-1: | Quadro compõem a matriz de insumo-produto do Brasil (referentes aos anos 1985 e 1990 a 1996) | 322 |

Lista de tabelas

| | | |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1-1: | Principais países produtores de cana-de-açúcar em 2006 | 42 |
| Tabela 2.1-2: | Principais culturas agrícolas do Brasil em 2007 | 43 |
| Tabela 2.2-1: | Ciclo típico de cana-de-açúcar na região Centro-Sul | 46 |
| Tabela 2.2-2: | Taxas médias de aplicação de fertilizantes | 48 |
| Tabela 2.2-3: | Relação das principais atividades utilizadas na produção da cana-de-açúcar no cenário atual | 57 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2.2-4: Tipos de transporte de cana | 59 |
| Tabela 2.3-1: Custo de recuperação do palhiço – base seca (US\$/t) | 61 |
| Tabela 2.3-2: Comparação entre o custo dos estudos de Michelazzo e do Projeto BRA/96/G31 (US\$/t) | 63 |
| Tabela 2.3-3: Configuração da destilaria padrão | 63 |
| Tabela 2.3-4: Investimentos para os cenários de armazenamento propostos | 65 |
| Tabela 2.3-5: Barreiras e recursos tecnológicos para o aprimoramento da produção da cana-de-açúcar | 71 |
| Tabela 2.3-6: Custos estimados da mecanização convencional e com ETC's | 75 |
| Tabela 2.3-7: Uma previsão de melhoristas da cana-de-açúcar com relação à produtividade e qualidade para os cenários de 2015 e 2025 | 81 |
| Tabela 3.1-1- Principais produtores de bioetanol da região Centro-Sul | 96 |
| Tabela 3.1-2: Distribuição do parque sucroalcooleiro | 97 |
| Tabela 3.2-1: Perdas de ART no processo de produção do etanol | 110 |
| Tabela 3.2-2: Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação | 114 |
| Tabela 3.2-3: Parâmetros de desempenho da destilaria padrão | 114 |
| Tabela 3.2-4: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração "Otimizada" | 121 |
| Tabela 3.2-5: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração Hidrólise | 123 |
| Tabela 3.2-6: Introdução de cada configuração do sistema de cogeração segundo os cenários de evolução tecnológica | 124 |
| Tabela 3.2-7: Estimativa dos investimentos envolvidos em uma destilaria padrão otimizada (destilaria modelo) | 126 |
| Tabela 3.2-8: Custo anual da produção de bioetanol e energia elétrica | 127 |
| Tabela 3.3-1: Composição do bagaço e do palhiço de cana-de-açúcar | 131 |
| Tabela 3.3-2: Bagaço Padrão (composição calculada) | 132 |
| Tabela 3.3-3: Potencial de transformação do bagaço em bioetanol (litros/tonelada de bagaço) | 136 |
| Tabela 3.3-5: Parâmetros técnicos da hidrólise anexa à destilaria | 150 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 3.3-6: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria | 151 |
| Tabela 3.3-7: Custo de produção do bioetanol de hidrólise | 153 |
| Tabela 3.3-8: Principais projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC | 159 |
| Tabela 3.3-9: Índice de álcalis para amostras de palhiço de cana-de-açúcar | 170 |
| Tabela 4.1-1: Principais culturas agrícolas do Brasil em 2007 | 177 |
| Tabela 4.1-2: Áreas ocupadas pelas principais culturas agrícolas no mundo em 2006 | 178 |
| Tabela 4.1-3: Potencial de produção de cana no Brasil | 186 |
| Tabela 4.1-4: Estimativa total da área apta e disponível para cultivo da cana nas 17 áreas selecionadas em 2003 | 189 |
| Tabela 4.1-5: Caracterização das 17 áreas selecionadas | 190 |
| Tabela 4.1-6: Estimativas da evolução regional da produtividade de cana (t/ha/ano) | 191 |
| Tabela 4.1-7: Estimativas das áreas aptas para cultivo de cana e das produtividades agrícolas nas 17 áreas selecionadas | 193 |
| Tabela 4.1-8: Comparação das projeções dos potenciais de produção de cana ¹ e de etanol ² para 2025 em relação às estimativas para 2005 nas 17 áreas selecionadas | 195 |
| Tabela 4.2-1: Potencial de produção de cana na Área 10 | 211 |
| Tabela 4.2-2: Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras | 214 |
| Tabela 4.2-3: Subclasses de aptidão agrícola das terras | 216 |
| Tabela 4.2-4: Classes de aptidão agrícola das terras | 217 |
| Tabela 5.1-1: Produção regional de bioetanol para exportação | 231 |
| Tabela 5.1-2: Distribuição da produção de bioetanol nas 17 áreas | 232 |
| Tabela 5.1-3: Participação dos Portos Brasileiros na Exportação de bioetanol em 2007 | 238 |
| Tabela 5.1-4: Portos e calados | 247 |
| Tabela 5.1-5: Portos atuais que exportam etanol | 248 |
| Tabela 5.1-6: Comparativo de custos entre modais de transporte | 251 |
| Tabela 5.1-7: Capacidade dos comboios nos principais corredores hidroviários do Brasil | 253 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 5.1-8: Custo logístico estimado (US\$/m ³) | 255 |
| Tabela 5.1-9: Investimento para a construção de centros coletores, dutos e terminais aquaviários | 256 |
| Tabela 5.1-10: Custo do frete internacional a partir do SE do Brasil | 258 |
| Tabela 6.1-1: Projeção da frota doméstica de veículos leves nos próximos vinte anos (em mil unidades) | 267 |
| Tabela 6.1-2: Projeção do consumo interno de bioetanol combustível em 2025 | 269 |
| Tabela 6.1-3: Produção brasileira de açúcar (milhões de toneladas) | 269 |
| Tabela 6.1-4: Exportações de Açúcar – Brasil | 270 |
| Tabela 6.2-1: Evolução das produtividades nas fases industrial e agrícola | 273 |
| Tabela 6.2-2: Rendimentos industriais (l/tc) dos 4 cenários tecnológicos | 275 |
| Tabela 6.2-3: Cenários tecnológicos de exportação de etanol | 276 |
| Tabela 6.2-4: Cenários sem e com tecnologia: produção de etanol, cana-de-açúcar e investimentos | 277 |
| Tabela 6.2-5: Balanço de terras de acordo com o cenário tecnológico | 278 |
| Tabela 6.2-6: Expansão da área total plantada de cana-de-açúcar (milhões de hectares) | 279 |
| Tabela 6.3-1: Distribuição da moagem para os cenários tecnológicos “Prudente” e “Progressivo” | 280 |
| Tabela 6.3-2: Eletricidade excedente gerada (GWh/ano) nas áreas de expansão selecionadas, segundo cenários tecnológicos | 281 |
| Tabela 6.4-1: Impactos no PIB ¹ (R\$ bilhão de 2005) da expansão produtiva do bioetanol no cenário estudado, com e sem avanço tecnológico | 287 |
| Tabela 7.2-1: Economia brasileira agregada em três setores, em 2002 | 308 |
| Tabela 7.2-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A | 308 |
| Tabela 7.2-3: A matriz inversa de Leontief | 309 |
| Tabela 7.2-4: Tabela de transações com as famílias como setor, para o Brasil, em 2002 | 311 |
| Tabela 7.2-5: A matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores tipo II | 311 |
| Tabela 7.3-1: Tabela de transações para o modelo estendido de insumo-produto | 314 |
| Tabela 7.3-2: Matriz de coeficientes tecnológicos do modelo estendido de insumo-produto | 318 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 7.3-3: Matriz \tilde{A} para o caso base | 318 |
| Tabela 7.3-4: Matriz \tilde{A} para o caso de colheita mecanizada | 319 |
| Tabela 7.3-5: Valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade em 2002 | 319 |
| Tabela 7.3-6: Variações absolutas do valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade | 320 |
| Tabela 7.5-1: Tabela de transações inter-regional | 326 |
| Tabela 7.5-2: Exemplo de matriz de coeficientes técnicos inter-regionais | 327 |
| Tabela 7.5-3: Exemplo de matriz inversa de Leontief inter-regional | 328 |
| Tabela 7.6-1: Simulações realizadas para quantificar os impactos regionais | 336 |
| Tabela 7.6-2: Hipóteses assumidas em cada simulação | 337 |
| Tabela 7.6-3: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão de 2005) | 339 |
| Tabela 7.6-4: Estimativa do aumento do valor da produção regional em relação a 2005 (%) | 341 |
| Tabela 7.6-5: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão de 2005) | 343 |
| Tabela 7.6-6: Estimativa do aumento do PIB regional em relação a 2005 (%) | 345 |
| Tabela 7.6-7: Impactos regionais sobre os empregos (em milhares de pessoas) | 346 |
| Tabela 7.6-8: Estimativa do aumento dos empregos regionais em relação a 2005 (%) | 348 |
| Tabela 7.6-9: Estimativa do aumento da produtividade regional (PIB/empregos) em relação a 2005 (%) | 349 |
| Tabela 7.6-10: Impactos sobre o excedente de eletricidade em toda a economia (TWh) | 351 |
| Tabela 7.6-11: Comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de 102,5 bilhões de litros de bioetanol com o equivalente monetário em produtos do refino do petróleo | 353 |
| Tabela 7.7-1: Quadro socioeconômico do Brasil por macro-região (2000) | 356 |
| Tabela 7.7-2: Quadro socioeconômico do Brasil por Unidade da Federação (2000) | 356 |
| Tabela 7.7-3: Impactos no IDH | 358 |
| Tabela 7.7-4: IDH das unidades da federação na Simulação 4 (“Tecnologia Progressiva” em 2025) | 360 |
| Tabela 7.8-1: Impactos sobre o valor da produção em um cluster típico (R\$ milhões) | 362 |
| Tabela 7.8-2: Impactos sobre o nível de empregos em um cluster típico | 363 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 7.8-3: Impactos sobre o PIB em um cluster típico (R\$ milhões) | 364 |
| Tabela 7.9-1: Investimentos (R\$ bilhões de 2005) | 366 |
| Tabela 7.9-2: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão) | 367 |
| Tabela 7.9-3: Impactos sobre o nível de empregos (em milhares) | 369 |
| Tabela 7.9-4: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão) | 371 |
| Tabela 8.2-1: Captação, consumo e lançamento de água: 1990 e 1997 | 391 |
| Tabela 8.2-2: Usos da água (valores médios) em usinas com destilaria anexa | 392 |
| Tabela 8.2-3: Balanço das emissões de CO ₂ (equiv.) por tonelada de cana, devido o uso de bioetanol em substituição à gasolina no Brasil | 395 |
| Tabela 8.2-4: Intensidade de uso de fertilizantes por culturas no Brasil | 398 |
| Tabela 8.2-5: Taxa de aplicação de fertilizantes | 399 |
| Tabela 8.2-6: Consumo de fungicidas (1999-2003) | 404 |
| Tabela 8.2-7: Consumo de inseticidas (1999-2003) | 404 |
| Tabela 8.2-8: Consumo de outros defensivos agrícolas (1999-2003) | 405 |
| Tabela 8.2-9: Uso de defensivos agrícolas pelas principais culturas comerciais | 406 |
| Tabela 8.2-10: Perdas de solo e água em culturas anuais e semi-perenes | 407 |
| Tabela 8.2-11: Efeito do manejo dos restos culturais sobre as perdas por erosão | 408 |
| Tabela 8.3-1: Sumário da análise SWOT | 410 |
| Tabela 8.3-2: Parâmetros de desempenho conforme a introdução de novas práticas e tecnologias | 414 |
| Tabela 9.2-1: Principais países produtores de bioetanol combustível | 442 |
| Tabela 9.2-2: Demanda potencial de bioetanol e percentual de mistura de bioetanol na gasolina em diversos países | 443 |
| Tabela 9.2-3: Projeção de demanda por bioetanol - 2020 e 2030 | 444 |
| Tabela 9.2-4: Resumo dos planos de difusão do E3 e do E10 no Japão | 457 |
| Tabela 9.2-5: Área colhida, produção, rendimento e porcentagem do total produzido de cana-de-açúcar no SADC e em alguns outros países selecionados, em 2004 | 465 |
| Tabela 10.3-1: Custos médios da produção de cana | 494 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 10.3-2: Custos de industrialização da cana para produzir etanol | 494 |
| Tabela 10.3-2: Custos administrativos na produção de etanol | 495 |
| Tabela 10.3-4: Potencial de redução de custo com as melhorias tecnológicas | 496 |
| Tabela 10.3-5: Indicadores de desempenho da tecnologia agrícola | 498 |
| Tabela 10.3-6: Indicadores de desempenho da tecnologia industrial | 500 |
| Tabela 10.3-7: Indicadores de desempenho da tecnologia energética | 502 |
| Tabela 10.3-8: Indicadores de desempenho em sustentabilidade | 504 |
| Tabela 10.4-1: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil por órgãos públicos de fomento | 507 |
| Tabela 10.4-2: Projetos dos Fundos Setoriais (1999-2006) | 508 |
| Tabela 10.4-3: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil por instituições ou centros de pesquisa usuários de recursos públicos e privados | 509 |

Sumário

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Prefácio | 21 |
| Apresentação | 23 |
| 1. INTRODUÇÃO: PERSPECTIVAS DO BIOETANOL NO MERCADO DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS PARA VEÍCULOS LEVES | 27 |
| 1.1. Oportunidades para o bioetanol combustível | 28 |
| 1.2. Projeção de crescimento da demanda de gasolina para 2025 | 30 |
| 1.3. Produção mundial de bioetanol e mercado potencial | 31 |
| 1.4. Estrutura do trabalho | 32 |
| Referências Bibliográficas | 36 |
| 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO – FASE AGRÍCOLA | 39 |
| 2.1. Introdução | 41 |
| 2.2. Fase agrícola - 1ª geração | 45 |
| 2.2.1. Plantio da cana-de-açúcar | 45 |
| 2.2.2. Trato cultural da soqueira | 47 |
| 2.2.3. Melhoramento genético da cana | 48 |
| 2.2.4. Controle biológico de pragas | 50 |
| 2.2.5. Práticas agrícolas | 51 |
| 2.2.6. Gerenciamento agrícola (GA) | 52 |
| 2.2.7. Colheita | 53 |
| 2.2.8. Transporte | 58 |
| 2.3. Fase agrícola - 2ª geração | 60 |
| 2.3.1. Recolhimento e armazenamento do palhiço | 60 |
| 2.3.2. Colheita com controle de tráfego <i>versus</i> mecanização convencional na sustentabilidade da agricultura canavieira | 66 |
| 2.3.3. Sistema de Plantio Direto | 67 |
| 2.3.4. Mecanização alternativa | 71 |
| 2.3.5. Colheita em terrenos inclinados com recursos de tração e direção utilizados em veículos fora de estrada | 78 |
| 2.3.6. Melhoramento Genético – Biotecnologia | 80 |
| 2.3.7. Tecnologia da Informação | 82 |
| Referências Bibliográficas | 85 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO – FASE INDUSTRIAL | 91 |
| 3.1. Produção de bioetanol no Brasil | 94 |
| 3.1.1. Introdução | 94 |
| 3.1.2. Distribuição geográfica das usinas | 95 |
| 3.1.3. Modelo de produção | 97 |
| 3.2. Fase industrial – 1ª geração | 97 |
| 3.2.1. Perfil atual do processamento da cana-de-açúcar | 97 |
| 3.2.2. Tecnologia praticada atualmente na produção de etanol | 101 |
| 3.2.3. Caracterização de uma destilaria padrão | 102 |
| 3.2.4. Inserção de melhorias na destilaria padrão | 109 |
| 3.2.5. Integração energética otimizada | 116 |
| 3.2.6. Destilaria modelo | 124 |
| 3.3. Fase industrial – 2ª geração | 128 |
| 3.3.1. Comparação das tecnologias avançadas em desenvolvimento no Brasil com outras semelhantes em desenvolvimento no exterior: hidrólise de bagaço para obtenção de etanol | 128 |
| 3.3.2. Avaliação das tecnologias avançadas de geração de energia tipo gaseificação/turbina a gás – Gaseificação da biomassa e uso do palhiço | 155 |
| Referências Bibliográficas | 171 |
| 4. ÁREAS POTENCIAIS PARA A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR | 175 |
| 4.1. Avaliação das áreas potenciais | 176 |
| 4.1.1. Introdução | 176 |
| 4.1.2. Estimativa do potencial de produção de cana no Brasil | 178 |
| 4.1.3. Clusters de produção | 187 |
| 4.1.4. Estimativa do potencial de produção de cana em 17 áreas selecionadas | 187 |
| 4.2. Avaliação do potencial de produção de cana-de-açúcar da Área 10 | 197 |
| 4.2.1. Geologia da Área 10 | 198 |
| 4.2.2. Geomorfologia | 199 |
| 4.2.3. Vegetação | 199 |
| 4.2.4. Caracterização Climática | 200 |
| 4.2.5. Comparativo climático entre a região canavieira de Ribeirão Preto-SP e a de Balsas-MA | 203 |
| 4.2.6. Metodologia do levantamento pedológico | 204 |
| 4.2.7. Potencial de produção para cana-de-açúcar | 207 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.8. Aptidão agrícola | 212 |
| Referências Bibliográficas | 218 |
| 5. INFRAESTRUTURA EXISTENTE E PROJETOS DE MELHORIAS | 223 |
| 5.1. Infraestrutura existente e projetos de melhorias | 223 |
| 5.1.1. Introdução | 223 |
| 5.1.2. Infraestrutura atual e matriz de transporte | 225 |
| 5.1.3. Alternativas de transporte para cada <i>cluster</i> levando em consideração a infraestrutura existente ou planejada | 226 |
| 5.1.4. Detalhamento da distribuição da produção de bioetanol e vias de escoamento para exportação | 229 |
| 5.1.5. Levantamento da situação dos terminais marítimos afetados pela exportação de bioetanol e das necessidades de melhorias | 237 |
| 5.1.6. Hidrovias Brasileiras | 248 |
| 5.1.7. Alternativas de transporte para exportação de bioetanol e investimentos necessários | 254 |
| Referências Bibliográficas | 260 |
| 6. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS TECNOLÓGICOS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOETANOL NO BRASIL, AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS MACROECONÔMICOS E RISCOS DE O MERCADO PREVISTO NÃO SE CONCRETIZAR | 265 |
| 6.1. Dinamização da demanda de terras | 266 |
| 6.1.1. Consumo interno de etanol | 266 |
| 6.1.2. Exportações de açúcar | 269 |
| 6.2. Dinamização da oferta de álcool anidro | 272 |
| 6.2.1. Alternativas Tecnológicas | 272 |
| 6.2.2. Cenários de Expansão da Oferta | 274 |
| 6.2.3. Balanço de Terras | 278 |
| 6.3. Potencial da geração de eletricidade excedente nas áreas selecionadas | 280 |
| 6.4. Impactos macroeconômicos dos cenários de exportação | 284 |
| 6.5. Avaliação de riscos de o mercado previsto não se concretizar | 288 |
| 6.5.1. Riscos de que o bioetanol não seja importante alternativa | 288 |
| 6.5.2. Riscos de que a produção de bioetanol não ocorra como esperado | 291 |
| 6.5.3. Riscos de que o mercado internacional não absorva toda a produção potencial brasileira | 293 |
| 6.5.4. Outros fatores de risco | 296 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.5.5. O papel das negociações | 297 |
| 6.5.6. Aspectos complementares | 298 |
| Referências Bibliográficas | 299 |
| 7. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS RELACIONADOS À PRODUÇÃO EM LARGA ESCALA DE BIOETANOL NO BRASIL | 303 |
| 7.1. Introdução | 304 |
| 7.2. O modelo básico de insumo-produto | 305 |
| 7.3. O modelo estendido de insumo-produto | 313 |
| 7.4. Base de dados | 321 |
| 7.5. O modelo de insumo-produto inter-regional | 325 |
| 7.6. Impactos socioeconômicos regionais devido às exportações de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano | 335 |
| 7.7. Estimativa dos impactos regionais da expansão da produção de bioetanol no IDH | 354 |
| 7.8. Impactos socioeconômicos em um <i>cluster</i> típico | 361 |
| 7.9. Impactos socioeconômicos da etapa de investimentos | 365 |
| Referências Bibliográficas | 373 |
| 8. SUSTENTABILIDADE | 383 |
| 8.1. Considerações iniciais: Análise Ambiental, Estratégica e Sustentabilidade | 384 |
| 8.1.1. A Análise Ambiental Estratégica (AAE) | 385 |
| 8.1.2. O conceito de sustentabilidade | 388 |
| 8.2. A análise de sustentabilidade | 389 |
| 8.2.1. Uso de água | 391 |
| 8.2.2. Impactos na redução das emissões de GEE | 393 |
| 8.2.3. Análise do Balanço de Carbono na cadeia de produção e uso | 394 |
| 8.2.4. Uso de fertilizantes minerais e orgânicos na produção agrícola | 396 |
| 8.2.5. A utilização do vinhoto | 399 |
| 8.2.6. Uso de pesticidas e herbicidas | 403 |
| 8.2.7. Preservação dos solos agrícolas | 407 |
| 8.3. A Análise SWOT | 409 |
| 8.3.1. Impactos na qualidade do ar | 411 |
| 8.3.2. Compactação de solos, uso de energia e emissões | 413 |
| 8.3.3. Suprimento e qualidade da água | 415 |
| 8.3.4. Ocupação do solo e biodiversidade | 418 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3.5. Preservação dos solos agrícolas | 421 |
| 8.3.6. Uso de defensivos agrícolas e fertilizantes | 423 |
| 8.4. Considerações finais | 425 |
| Referências Bibliográficas | 426 |
| 9. MARCO REGULATÓRIO | 431 |
| 9.1. Breve histórico da agroindústria sucroalcooleira no Brasil | 433 |
| 9.2. Panorama Internacional para o etanol: tratados, políticas, barreiras e perspectivas para o Brasil | 440 |
| 9.2.1. Estados Unidos da América | 444 |
| 9.2.2. União Europeia | 449 |
| 9.2.3. América Central e Caribe | 451 |
| 9.2.4. América do Sul | 455 |
| 9.2.5. Japão | 456 |
| 9.2.6. China | 458 |
| 9.2.7. Índia | 459 |
| 9.2.8. Austrália | 460 |
| 9.2.9. Tailândia | 460 |
| 9.2.10. África | 461 |
| 9.3. Diretrizes para a elaboração de um marco regulatório para o setor sucroalcooleiro | 466 |
| 9.3.1. Intervenção estatal para garantir o abastecimento interno de bioetanol combustível | 467 |
| 9.3.2. Estoques reguladores para o bioetanol combustível | 468 |
| 9.3.3. Fiscalização da produção de bioetanol combustível | 470 |
| 9.3.4. Transferência da tecnologia de produção de bioetanol para países com baixos níveis de desenvolvimento econômico | 471 |
| 9.3.5. Criação de um fundo específico para financiar atividades de P&D relativas ao bioetanol combustível | 471 |
| 9.3.6. Tributação sobre veículos e sobre o bioetanol combustível | 472 |
| 9.3.7. Especificação da qualidade do bioetanol combustível | 473 |
| 9.3.8. Certificação da sustentabilidade da cadeia produtiva do bioetanol combustível | 474 |
| 9.3.9. Fomento financeiro à geração de maiores excedentes de energia elétrica nas unidades de cogeração das usinas sucroalcooleiras | 475 |
| 9.4. Considerações finais | 476 |
| Referências bibliográficas | 477 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE P&D E SUGESTÃO DE ALTERNATIVAS PARA O SEU FINANCIAMENTO | 483 |
| 10.1. Áreas mais Propícias de P&D na Cadeia Produtiva Cana-Etanol | 484 |
| 10.2. Definição de indicadores de P&D na cadeia produtiva de cana - etanol | 489 |
| 10.2.1. Indicadores agrícolas | 489 |
| 10.2.2. Indicadores Industriais | 491 |
| 10.2.3. Indicadores da área energética | 492 |
| 10.2.4. Indicadores de sustentabilidade | 492 |
| 10.3. Quantificação dos impactos das melhorias proporcionadas pela P&D | 493 |
| 10.3.1. Evolução da tecnologia agrícola | 497 |
| 10.3.2. Evolução da tecnologia industrial | 499 |
| 10.3.3. Evolução da tecnologia energética | 500 |
| 10.3.4. Evolução da tecnologia em termos de sustentabilidade | 503 |
| 10.3.5. Considerações econômicas | 504 |
| 10.4. Orçamento e cronograma para o desenvolvimento tecnológico - os fundos setoriais e o P&D em etanol | 506 |
| 10.5. Criação de um Fundo de Desenvolvimento para bioetanol e fonte de recursos | 511 |
| 10.6. Incentivos fiscais e empréstimos diferenciados | 513 |
| 10.6.1. Incentivos visando melhorias tecnológicas ou o emprego de tecnologias disruptivas | 514 |
| 10.6.2. Incentivos aos novos empreendimentos em áreas mais desejáveis | 515 |
| 10.7. Política pública para o desenvolvimento sustentado do etanol | 516 |
| 10.7.1. Breve diagnóstico da situação do setor sucroalcooleiro no Brasil e suas perspectivas futuras | 518 |
| 10.7.2. Objetivos das políticas públicas para P&D&I em etanol | 520 |
| 10.7.3. Instrumentos de políticas públicas | 522 |
| 10.8. Implicações sobre o sistema de C&T brasileiro | 523 |
| Referências Bibliográficas | 525 |
| RESULTADOS E CONCLUSÕES | 529 |



Prefácio

A liderança brasileira na produção de bioetanol representa uma oportunidade estratégica em um cenário de crescente demanda global por energia limpa. Temos uma história positiva com a produção de etanol de cana-de-açúcar a baixo custo graças a características locais e ao aporte de tecnologias adequadas, o que nos permite pensar em expansão significativa dessa produção para o mercado externo, já que o foco tradicional tem sido o mercado interno. Atualmente, exportamos cerca de 15% da nossa produção e se faz necessário desenvolver experiência adicional para atender a crescente demanda potencial por etanol, o que envolve aspectos técnicos, econômicos e políticos.

É nesse contexto que, por meio de Contrato de Gestão com o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), o CGEE encomendou ao Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Estratégico (Nipe), da Unicamp, o estudo “Energias renováveis: etanol da cana”. Sob a coordenação do professor Rogério Cezar de Cerqueira Leite, o trabalho foi desenvolvido entre 2005 e 2008 em três etapas, resultando uma série de estudos sobre a expansão da produção e uso do etanol brasileiro intitulados “Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando a Substituição Parcial de Gasolina no Mundo” (Etanol Fases 1 e 2); e, “Estudo prospectivo de solo, clima e impacto ambiental para o cultivo da cana-de-açúcar, e análise técnica/econômica para o uso do etanol como combustível” (Etanol Fase 3).

O projeto procurou identificar os condicionantes para o país produzir de forma sustentável grandes quantidades de etanol combustível, visando particularmente a expansão do mercado externo, os impactos econômicos, sociais, ambientais e políticos decorrentes dessa ação, e a disponibilidade de terras, recursos humanos, condições naturais e tecnologia para fazer face a esse desafio.

A pesquisa demonstrou ainda a necessidade e o interesse em estabelecer políticas públicas para orientar essa expansão e foi precursora de diversas iniciativas recentes no cenário nacional, como o Zoneamento Agro-ecológico da cana-de-açúcar (Zae Cana), do governo federal, que busca o ordenamento da expansão e da produção sustentável da cana-de-açúcar no território nacional. A Conferência Internacional de Biocombustíveis, organizada em São Paulo em novembro de 2008, foi igualmente um marco para o posicionamento estratégico do país na transformação do bioetanol em uma commodity, em que o CGEE, em parceria com BNDES, Cepal e FAO, colaborou na elaboração do livro “Bioetanol de Cana-de-Açúcar - Energia para o Desenvolvimento Sustentável”, editado em quatro línguas, para apoiar a difusão internacional da produção e uso sustentável do bioetanol de cana-de-açúcar.

Nos últimos anos, instituições federais e estaduais brasileiras investiram na promoção de programas para o fortalecimento e ampliação do setor de bioetanol no país, dos quais podemos destacar a implantação do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE/MCT); a rede de pesquisa Bioetanol, financiada pela Finep; o apoio do CNPq, por meio do programa dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, para a criação do Instituto Nacional de Biotecnologia do Bioetanol; o Programa Bioen, da Fapesp, e mais recentemente a estruturação de uma rede de inovação Bioetanol, no âmbito do programa Sibratec do MCT. Também no CGEE, realizamos ainda em 2004 um estudo pioneiro sobre biocombustíveis, publicado no Caderno NAE, e na revista Parcerias Estratégicas, do mesmo ano, apresentamos um artigo que indica a relevância da cadeia produtiva do etanol para o desenvolvimento do país.

Apoiamos todas essas iniciativas e mantemos nosso entusiasmo com os projetos do setor, com o objetivo de contribuir efetivamente para a agenda brasileira do bioetanol. Nossos agradecimentos ao trabalho do professor Cerqueira Leite e de todo o seu grupo, que vêm conduzindo exaustivamente pesquisas que levem à expansão da produção desse combustível nacional, assim como a equipe do CGEE envolvida neste estudo.

Lucia Carvalho Pinto Melo

Presidenta

Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE)



Apresentação

Esta obra "**Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**" é fruto de um projeto desenvolvido pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com o Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), entre 2005 e 2008.

Para a sua realização contamos com a participação de pesquisadores de várias instituições onde vale destacar os pesquisadores do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), cuja valiosa bagagem permitiu um grande entrosamento com setores da academia e outros órgãos de pesquisa do país que colaboraram no projeto.

O objetivo geral do projeto era audacioso, colocando em discussão um tema da maior importância para o Brasil neste século: se a bem sucedida experiência brasileira iniciada em 1975 com o Proálcool poderia ser expandida de forma significativa trazendo benefícios para o país, na forma de geração de emprego, de renda e de energia, e para o mundo, por mitigar as nocivas emissões dos chamados gases do efeito estufa que representam uma verdadeira ameaça à humanidade.

Para realizar este ambicioso e estratégico projeto, uma equipe com competências multidisciplinares foi montada a fim de tentar responder as diferentes implicações desta expansão da produção de etanol no país. Foram conduzidos não apenas estudos técnicos sobre a aptidão agrícola para expansão em outras áreas, mas também o impacto das novas tecnologias agrícolas e industriais. Além destes, foram realizados estudos de impacto ambiental, social, macroeconômico e de logística com a colaboração da Transpetro.

Os resultados deste projeto foram animadores e auspiciosos. A resposta para o objetivo central foi positiva e concluímos que o país reúne as condições necessárias tanto do ponto de vista dos recursos naturais considerados essenciais, como também de competência técnica, infraestrutura e recursos financeiros. Se for realizado um investimento nos próximos 20 anos na expansão da produção e na infraestrutura, podemos chegar a produzir etanol em volume suficiente para substituir o equivalente a 10% da gasolina a ser consumida no mundo, sem prejudicar o abastecimento interno de etanol e interno e externo de açúcar.

No entanto, se forem realizados esforços concentrados em ciência e tecnologia, não somente a liderança brasileira em biocombustíveis poderá ser mantida, mas também utilizaremos menos terras, menos recursos e os benefícios globais serão maiores.

Este livro que ora se apresenta é, portanto, um primeiro passo para a elaboração de um novo paradigma na produção de biocombustíveis no mundo e ao mesmo tempo tenta mostrar que o Brasil dispõe das condições necessárias para alcançá-lo.

Campinas, outubro de 2009

Rogério Cezar de Cerqueira Leite

Coordenador do Projeto Bioetanol NIPE/UNICAMP - CGEE

The background features a dense field of corn plants, overlaid with a semi-transparent green filter. A network diagram consisting of interconnected nodes and lines is visible across the image. A solid green vertical bar is positioned on the right side.

Introdução: perspectivas
do bioetanol no mercado
de combustíveis líquidos
para veículos leves



1. Introdução: perspectivas do bioetanol no mercado de combustíveis líquidos para veículos leves

Uma ampliação significativa da produção de bioetanol combustível no Brasil poderia constituir um projeto nacional desenvolvimentista. De fato, uma série de fatores pode favorecer essa hipótese:

1. A escalada dos preços do petróleo, que melhora a competitividade do bioetanol face à gasolina;
2. A redução das emissões de gases de efeito estufa proporcionada pelo uso do bioetanol proveniente da cana-de-açúcar para substituir gasolina;
3. A grande disponibilidade de terras aptas para o cultivo da cana no país (o que inclui a recuperação de áreas de pastos degradados), sem necessidade de avançar sobre os principais biomas naturais remanescentes, em particular Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica;
4. A elevada produtividade, em termos de energia de biomassa por unidade de área, apresentada pela cana-de-açúcar e que ainda pode ser melhorada consideravelmente com o incremento do aproveitamento energético do bagaço e da palha;
5. O fato de que tecnicamente, não há restrição ao uso de uma mistura de até 10% de bioetanol (E10) à gasolina utilizada nos atuais veículos;
6. A expectativa de relaxamento das barreiras protecionistas ao bioetanol nos países industrializados e a expansão da produção nos países do trópico úmido, o que pode facilitar a criação de um mercado internacional para o bioetanol combustível, tornando-o uma commodity;
7. Os benefícios socioeconômicos advindos do efeito multiplicador do crescimento do setor, em função de sua ligação com toda a cadeia produtiva da economia, trazendo impactos expressivos na geração de emprego e renda.

Com efeito, com o objetivo de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, vários países têm incrementado o uso de bioetanol em sua matriz energética, seja para adicioná-lo diretamente à gasolina, seja para a fabricação de oxigenante. Destacam-se, especialmente, os programas de muitos países que fixaram metas de participação de biocombustíveis em suas matrizes em prazos inferiores a 20 anos.

O consumo mundial de gasolina foi de 1,22 trilhão de litros em 2006 (IEA, 2009), e estima-se que em 2025 deverá ser de 1,70 trilhão de litros. Neste livro, serão examinadas as condições necessárias para que o Brasil atenda à demanda mundial de bioetanol de cana-de-açúcar, para substituir 10% do consumo global de gasolina em 2025, o que corresponderia a uma produção de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano e requereria uma área adicional de 24 Mha para cultivo da cana, área pouco superior à ocupada com soja atualmente (20,6 Mha em 2007) e equivalente a pouco mais de 10% da atualmente destinada a pastagens.

1.1. Oportunidades para o bioetanol combustível

Há poucos exemplos na história da humanidade, e do Brasil em particular, de uma conjuntura de tantos fatores convergentes favoráveis a um projeto nacional desenvolvimentista, como é o caso da expansão da produção de bioetanol combustível. Dentre inúmeros fatores favoráveis, podemos destacar:

- a) O aumento dos preços do petróleo no mercado internacional que, mesmo exibindo um comportamento oscilante, tem caráter estrutural, como consequência da aproximação do pico de produção do petróleo e da crescente pressão sobre a demanda exercida principalmente pelos países emergentes. O consumo mundial de gasolina aumentou 15,9% entre 2000 e 2005, e o consumo mundial de petróleo aumentou 12,0% entre 2000 e 2007, com China e Índia apresentando crescimentos de 57,7% e 31,6%, respectivamente (EIA, 2009);
- b) O progressivo reconhecimento em todo o mundo das consequências ambientais devidas ao aquecimento global e sua correlação com o consumo de combustíveis fósseis. Esta conscientização é reforçada por inúmeras observações atuais, como a retração de geleiras e neves permanentes em toda a crosta terrestre (inclusive da Groelândia), assim como das calotas polares sul e norte, os Alpes, o Complexo do Himalaia, etc. Além disso, um número crescente de especialistas afirma que o aumento da gravidade de catástrofes climáticas, como ondas de calor, furacões, ciclones, inundações, secas, etc., (intensidade por um fator de 6 de 1970 a 2005, e de frequência de 2,5 a 3 no mesmo período) é consequência do aquecimento global. Assim, cresce a convicção em toda a sociedade de que alternativas aos combustíveis fósseis devem ser buscadas com urgência;
- c) Os custos de produção do bioetanol combustível produzido a partir da cana-de-açúcar vêm caindo sistematicamente e já é competitivo com a gasolina, com o preço do petróleo em torno de US\$ 50 o barril; em contrapartida, as projeções para o preço de importação do petróleo da *International Energy Agency (World Energy Outlook 2008)* indicam valores superiores a US\$ 100 o barril (referentes a 2007) a partir de 2020, o que tornaria o bioetanol ainda mais competitivo;



- d) Em 2005, a área ocupada com cana no Brasil era de 5,8 Mha, com soja, 22,9 Mha, e a área usada para pastagens era de 197,0 Mha (FAO, 2008). Em relação ao mesmo ano, de acordo com os dados do IBGE (2008) e da FAO (2008), o valor da produção de cana-de-açúcar, álcool e açúcar por hectare de cana plantada foi de R\$ 9.100; o valor da produção da soja, óleo de soja e farelo, por hectare plantado de soja, foi de R\$ 2.100; e o valor da produção do gado de corte, da produção de leite e do abate foi de R\$ 400 por hectare utilizado de pasto. Nos valores apresentados, a cana-de-açúcar e seus principais produtos têm nítida vantagem em termos do valor da produção por hectare cultivado, revelando-se uma opção preferencial em termos econômicos;
- e) Outros grandes países também produtores de bioetanol de cana, tais como Índia e China, apesar de menos competitivos por causa do clima (regime de chuvas, temperatura, etc.) ou da qualidade e da disponibilidade de solo, estão realizando presentemente ingentes esforços para ampliar suas produções. Essas iniciativas, assim como a mobilização do potencial produtivo dos cerca de 130 países produtores de cana-de-açúcar, certamente poderão contribuir para a formação de um mercado internacional de etanol, de maior interesse para o Brasil, em função do seu avanço tecnológico e de suas vantagens comparativas no tema;
- f) O bioetanol de cana-de-açúcar é atualmente a opção de biomassa energética de maior produtividade por unidade de área e de melhor balanço energético, que é a razão entre a energia que sai na forma de produto (etanol e energia mecânica, térmica e elétrica) e a energia fóssil consumida na cadeia produtiva. Enquanto o bioetanol de milho produzido nos EUA apresenta um balanço energético entre 1,2 e 1,4, o de cana-de-açúcar é superior a 8. A despeito dessa produtividade e balanço energético já elevados, pode-se esperar, ainda, significativo avanço nesses indicadores por dois motivos:
 - g) Em primeiro lugar porque, até o presente, apenas uma parcela do bagaço excedente é aproveitada, com baixo rendimento, para fins energéticos (por exemplo: cogeração) e, em segundo lugar, porque a palha ainda não é aproveitada para fins energéticos, o que corresponde ao desperdício de um terço da energia primária de cana; com efeito, para a produção de 493 milhões de toneladas de cana na safra 2007/2008, a energia primária total da cana seria equivalente a 1,7 milhão de barris/dia e a parte da palha corresponderia a 580 mil barris/dia (30% da produção nacional de petróleo), esta última totalmente inaproveitada;
 - h) Ademais, as variedades atualmente em uso foram desenvolvidas para produzir açúcar e não energia, o que permite supor que uma reversão de objetivos possa aumentar a produtividade para o etanol. Tecnologias de 2ª geração (hidrólise, gaseificação e pirólise) poderão aumentar a eficiência de conversão energia solar-energia química do etanol, dos atuais 0,5% para algo próximo a 1%.

Com tantos fatores favoráveis, é possível conceber uma expansão significativa da produção de bioetanol no Brasil como uma oportunidade de desenvolvimento socioeconômico nacional com impactos particularmente favoráveis nas áreas rurais. A avaliação efetuada neste estudo permitiu identificar uma disponibilidade de terras férteis, desimpedidas do ponto de vista legal e ecológico, com declividade e intensidades pluviométricas adequadas para a cultura canavieira mecanizada, de aproximadamente 90 Mha, sem invadir áreas destinadas ao cultivo de alimentos. Naturalmente que essas considerações servem apenas para aquilatar as potencialidades extremas dessa opção desenvolvimentista. Assim, o cenário analisado neste estudo, de substituir 10% da gasolina do mundo por bioetanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil, que demandaria uma área plantada de 25 Mha, é perfeitamente realista do ponto de vista de nossa capacidade produtiva, muitas vezes superior à necessária para atender a tal cenário.

1.2. Projeção de crescimento da demanda de gasolina para 2025

O consumo mundial de gasolina foi de 1,22 trilhão de litros em 2006, que foram consumidos quase que exclusivamente como combustível de veículos leves. As tendências de mercado serão regidas por duas tensões opostas. De um lado, as expectativas de escassez do petróleo vêm promovendo o desenvolvimento de tecnologias poupadoras de combustível. Por outro lado, a evolução econômica acelerada de países em desenvolvimento com grandes índices populacionais como a China, a Índia e, em certa medida, o Brasil, e outros ditos emergentes vem tentando responder a uma demanda reprimida por veículos leves de uma população crescente.

Previsões de crescimento se tornam mais complexas quando se levam em conta traços socioculturais específicos. Um caso extremo é o dos EUA, onde o carro, muito mais que um meio de transporte, é um símbolo de *status*, um dispositivo de afirmação pessoal. Neste país, após 6 anos de disponibilidade (a partir de 1999), o modelo híbrido gasolina-eletricidade, que assegura um aumento de eficiência de 30% a 40% no dispêndio de gasolina, não alcançou o nível de 1% do mercado de compactos.

Não obstante estas dificuldades, o *National Energy Information Center* (NEIC) dos EUA projeta um aumento da demanda mundial de gasolina de 48% de 2005 para 2025, podendo variar cerca de 5% para mais ou para menos, dependendo da adoção de novas tecnologias. Note-se que a expectativa de aumento da demanda de combustíveis para veículos leves, de acordo com o NEIC, é muito maior do que para outros derivados de petróleo. Adotaremos, portanto, como referência para 2025 a demanda de 1,7 trilhão de litros de combustíveis para veículos leves.



Considerando que o poder calorífico do bioetanol é menor que o da gasolina e que o uso do bioetanol melhora um pouco a eficiência dos motores a ciclo Otto, a quantidade de bioetanol necessária para substituir 10% desta gasolina (170 bilhões de litros) foi estimada, preliminarmente, em 205 bilhões de litros por ano. Isso demandaria uma área, considerando-se a produtividade média atual brasileira, de 30 Mha, ou seja, um terço da área identificada neste trabalho no território brasileiro, cerca de 90 Mha, apta ao cultivo da cana-de-açúcar, disponível sem outras culturas e sem necessidade de irrigação. Essa área, com os avanços tecnológicos descritos mais adiante, seria reduzida a apenas 24 Mha, que é pouco mais do que a área hoje ocupada com soja no Brasil.

1.3. Produção mundial de bioetanol e mercado potencial

O mundo consome mais de 20 milhões de barris de gasolina por dia, utilizados principalmente como combustíveis de veículos leves. Os principais consumidores de gasolina (EUA, Japão e União Europeia) e os países com rápido crescimento no consumo desse combustível fóssil (China e Índia) estão buscando alternativas para reduzir seus consumos. Fatores ambientais, econômicos, políticos e estratégicos tornam o bioetanol uma das principais opções para substituir parcialmente a gasolina, seja por meio da mistura direta ou como insumo na fabricação do ETBE (oxigenante da gasolina).

Assim, muitos países começaram a demonstrar interesse pela produção e pelo consumo do bioetanol para uso como combustível veicular, por meio de programas e políticas voltadas para os biocombustíveis, tais como incentivos à produção e ao consumo interno, e acordos internacionais.

O mercado internacional do bioetanol combustível ainda é incipiente e enfrenta dificuldades como segurança no fornecimento, falta de infraestrutura e barreiras políticas e comerciais em algumas regiões; porém, o rápido aumento na demanda de gasolina e as oscilações do preço do petróleo estão ajudando a incrementar o fluxo do comércio internacional deste combustível renovável.

Neste capítulo, procura-se projetar o mercado potencial do bioetanol combustível até 2025, baseando-se o cálculo no consumo da gasolina (histórico, tendências no consumo e projeções da EIA), na produção de bioetanol combustível (histórico e capacidade para aumento da produção) e nas políticas anunciadas de apoio aos biocombustíveis.

Estima-se que, atualmente, em torno de 40% da produção mundial de bioetanol são oriundos da fermentação de açúcares originários de matérias-primas como cana-de-açúcar e beterraba; o restante vem de grãos como, por exemplo o milho, e uma pequena parte vem de fontes fósseis (gás natural e carvão).

Essa indústria é, em muitos países, sustentada por barreiras comerciais protecionistas, como tarifas de importação e subsídios para exportação; e, também, em condições particulares de cada país, como quotas de produção, preços fixados ao produtor e preços regulados ao consumidor.

Essas medidas de sustentação têm implicações positivas e negativas importantes para a economia de muitas nações em desenvolvimento no Caribe, Ásia e África, já que estas nações têm acordos preferenciais de comércio internacional com os EUA e a União Européia. Por outro lado, medidas protecionistas distorcem a competitividade entre os mercados de alimentos, materiais e energia provenientes da biomassa.

Os altos níveis de apoio às indústrias açucareiras dos países da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) resultam em excessos de produção que são exportados a preços abaixo dos custos de produção, o que limita oportunidades de acesso ao mercado. Nestas condições, o custo de oportunidade de produção de bioetanol pode ser atrativo, no entanto, os retornos da produção de açúcar em mercados domésticos são maiores, em geral, que os que seriam obtidos na fabricação de etanol.

As perspectivas de reformas e a desregulamentação das políticas do açúcar na União Europeia (UE) e nos EUA poderão criar maiores incentivos para a produção de bioetanol (e outras formas de bioenergia como a geração de energia elétrica), mesmo que incorra em altos custos, já que os retornos do açúcar do comércio preferencial e do mercado doméstico seriam, então, significativamente diminuídos.

1.4. Estrutura do trabalho

Para se avaliar a capacidade do Brasil vir a produzir para exportação os 205 bilhões de litros estimados para 2025, é necessário que se faça uma série de análises sobre a necessidade e a disponibilidade de recursos naturais, desenvolvimento tecnológico atual e esperado no futuro, infraestrutura existente e necessária para atender a exportação em 2025, nova fronteira de expansão da cultura de cana-de-açúcar, cenários para atendimento da demanda interna e externa de açúcar e demanda interna de bioetanol, além da demanda de bioetanol de exportação, impactos socioeconômicos do crescimento do setor, sustentabilidade das iniciativas de exportações, marco regulatório atual e futuro e, finalmente, as ações prioritárias de estímulo ao desenvolvimento tecnológico.

Dessa forma, o estudo descrito neste livro foi dividido nos seguintes temas, abordados do capítulo 2 ao capítulo 10, como descrito a seguir.



- Descrição do processo produtivo – fase agrícola: o estágio atual da tecnologia de produção de cana-de-açúcar é abordado, assim como os principais aspectos de sua evolução histórica, para se definir o marco zero da expansão. São cobertas todas as áreas correlatas, desde o melhoramento genético da cana-de-açúcar até a colheita e o transporte, passando pelas operações agrícolas e seu gerenciamento, controle de pragas e as alternativas para recolhimento da palha, considerada indispensável como matéria-prima para o incremento da geração de eletricidade e as tecnologias de produção de bioetanol de segunda geração. Discutem-se também as tecnologias emergentes que terão impactos significativos na sustentabilidade de produção de cana, como plantio direto, tecnologia de colheita mecânica de baixa compactação do solo, agricultura de precisão e tecnologia da informação e engenharia genética no melhoramento varietal. Os indicadores técnico-econômicos necessários para o desenvolvimento dos cenários de expansão e das análises socioeconômicas serão apresentados neste capítulo para a cana-de-açúcar.
- Descrição do processo produtivo – fase industrial: o estado da arte das tecnologias de primeira geração é descrito, assim como os impactos esperados com a entrada comercial da segunda geração de tecnologias de produção de bioenergia. As melhorias esperadas na tecnologia de primeira geração são também incluídas nas avaliações, principalmente o crescimento da geração de energia elétrica excedente e as otimizações energéticas necessárias ao processo produtivo de bioetanol. Para se avaliar os aspectos técnico-econômicos da expansão projetada, foi definida uma Destilaria Padrão com uma moagem de safra de 2 milhões de toneladas de cana, produzindo 170 milhões de litros de bioetanol anidro e gerando 175,6 GWh de eletricidade excedente para a venda. A projeção destas melhorias tecnológicas e a entrada paulatina da segunda geração, também com sua evolução tecnológica, são sugeridas para o período 2005-2025 do estudo, tendo os anos de 2015 e 2025 como as datas de avaliação; essas projeções levam em conta três configurações de destilaria conforme a intensidade de uso das melhorias tecnológicas.
- Levantamento de áreas potenciais para a expansão da produção de cana-de-açúcar: para identificar as áreas disponíveis para cultivo da cana-de-açúcar é realizado um trabalho pioneiro de zoneamento agrícola, com a preparação de um conjunto de mapas de ambientes de produção para todo território nacional, mas excluindo as áreas sensíveis do ponto de vista ambiental (Amazônia Legal, Pantanal, Mata Atlântica, Reservas Indígenas e outras) e as áreas com declividade acima de 12%, consideradas impróprias para a colheita mecanizada. Os ambientes de produção são divididos em quatro categorias: alto, médio, baixo e impróprio. Com base na estimativa de necessidade de cana para a expansão, são selecionadas 17 áreas para a análise da produção de cana, levando-se em conta a ocupação atual e futura das terras municipais, as produtividades e a facilidade de escoamento da produção para exportação.

- Repertoriamento da infraestrutura existente e de projetos de melhorias e ampliação com foco no transporte do etanol: um levantamento exaustivo da infraestrutura existente no país para transporte de bioetanol é apresentado, assim como são detalhadas as necessidades de expansão para atender as demandas futuras com base nos modais mais eficientes e econômicos, como dutos, hidrovias e ferrovias; também são discutidas as necessidades de melhorias nos portos e estimados os investimentos globais e custos de transporte, dentro das hipóteses assumidas.
- Construção dos cenários sobre a produção de bioetanol no Brasil e avaliação dos impactos socioeconômicos: este é o capítulo central do livro que utiliza as informações produzidas nos capítulos anteriores para a montagem de vários cenários para a expansão do setor sucroalcooleiro do Brasil de modo a atender as demandas de açúcar e etanol, nos mercados interno e externo, considerando o adicional de exportação estimado de 205 bilhões de litros em 2025. Os três cenários de melhorias tecnológicas, desenvolvidos anteriormente, são comparados ao cenário sem avanços tecnológicos (situação de hoje) para se avaliarem os impactos destas melhorias e da velocidade de introdução delas. Os impactos macroeconômicos são estimados assim como os impactos regionais nos principais indicadores socioeconômicos como o IDH, empregos, renda e PIB.
- Análise da sustentabilidade: a análise preliminar da sustentabilidade do crescimento projetado da produção de bioetanol é efetuada, avaliando-se toda a cadeia produtiva. Também são feitas considerações sobre análise ambiental estratégica e a metodologia *Strength, Weakness, Opportunities e Threats* (SWOT).
- Exame dos marcos regulatórios: os aspectos regulatórios relevantes para o setor sucroalcooleiro são apresentados e discutidos, partindo-se de um histórico da evolução dessa agroindústria no Brasil. O panorama internacional também é avaliado, em particular no que poderá impactar o estabelecimento de um mercado mundial de etanol. Finalmente, são examinadas diretrizes para a elaboração de um novo marco regulatório condizente com as oportunidades reveladas neste estudo.
- Identificação das necessidades de P&D e exame de alternativas para seu financiamento: esse último capítulo sugere as prioridades de desenvolvimento tecnológico, com base nas avaliações quantitativa dos impactos das melhorias na sustentabilidade dos cenários de expansão. Essas prioridades partem de tópicos de ciência básica, como o estudo da fotossíntese, passa pela implantação de tecnologias em estágios bem avançados de desenvolvimento, como a recuperação da palha na colheita de cana sem queimar, e vão até as tecnologias de nova geração focadas no aproveitamento energético da cana-de-açúcar. Os tópicos estão agrupados por área para tornar mais claro o impacto de cada conjunto. Os recursos para P&D existentes hoje são levantados e é examinada uma metodologia para satisfazer a necessidade de recursos adicionais. Os objetivos e instrumentos de



políticas públicas para o desenvolvimento da expansão de produção e garantia da melhoria da competitividade do bioetanol brasileiro também são examinados.

Os capítulos a seguir formam um bloco estruturado com vista a cobrir toda a gama de informações necessárias para a análise da capacidade de o país vir a produzir as quantidades de bioetanol indicadas, dentro da ótica de disponibilidade de recursos naturais (terras e água), capacidade de investimento, adequação e possibilidade de melhoria da infraestrutura de escoamento da produção, impactos socioeconômicos em nível regional e nacional, e necessidade de políticas públicas e de desenvolvimento tecnológico. É importante sublinhar que a análise de sustentabilidade aqui apresentada é apenas preliminar e indicativa dos pontos mais relevantes a serem considerados em uma avaliação mais detalhada. Do mesmo modo, a avaliação do mercado internacional e das oportunidades para o Brasil exportar as quantidades aqui estudadas também são indicativas, uma vez que o cenário de desenvolvimento de um mercado mundial de bioetanol ainda está indefinido quanto às pretensões dos países desenvolvidos e em desenvolvimento em realmente buscarem alternativas sustentáveis (como a produção e consumo de biocombustíveis) para a substituição parcial de derivados de petróleo e para mitigar o problema do aquecimento global.

Referências Bibliográficas

BIOENERGY REVIEW – F.O. Lichts, World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook. Dr. Christoph Berg – April 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2009 www.eia.doe.gov

FAO. Food and Agriculture Organization, 2009– www.fao.org

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2008. www.ibge.gov.br

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Statistics. Site: <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>
(acesso em março/2009).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Biofuels for Transport – an International Perspective. IEA: Paris; 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Energy to 2050 – Scenarios for a Sustainable Future. Paris; 2003.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA), U.S. Fuel Ethanol Production Capacity, July 2005.
www.ethanolrfa.org.

WORLD ENERGY OUTLOOK, 2008 - <http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp>

The background features a dense field of corn plants. A semi-transparent green overlay covers the entire image. Overlaid on this is a faint, light-colored network diagram consisting of circular nodes connected by straight lines, suggesting a process flow or data network. The text is positioned in the lower right quadrant of the image.

Descrição do processo
produtivo – Fase agrícola

2. Descrição do processo produtivo – Fase agrícola

Neste capítulo, apresenta-se a descrição do estado da arte atual do processo produtivo de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil, aqui chamada de 1ª geração, envolvendo as melhorias na fase agrícola e também os aspectos relacionados às tecnologias de 2ª geração. São abordados, ainda, os aspectos referentes ao uso do bagaço da cana e do palhiço.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana e de açúcar e o segundo maior produtor de etanol. Em 2007, a produção nacional de cana foi de 515,8 Mt, ocupando uma área colhida de 6,7 Mha (10,0 % da área agrícola do país, ou 2,4% da área ocupada com atividades agropecuárias); a de açúcar, 31,3 Mt, e a de bioetanol, 22,5 Gl.

Principais aspectos da fase agrícola – 1ª geração

1. A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, pois após seu plantio é cortada várias vezes antes de ser replantada. Seu ciclo produtivo é, em média, de cinco cortes, em seis anos. A evolução tecnológica na produção de cana foi marcante no país, desde o início do Proálcool até os dias de hoje, e os principais itens que merecem destaque são: melhoramento genético, mecanização agrícola, gerenciamento agrícola, controle biológico de pragas, reciclagem de efluentes e práticas agrícolas.
2. Entre 1977 e 2006, a produtividade nacional passou de 52,0 t/ha colhido para 74,4 t/ha; entretanto, observa-se que tem havido uma diferença substancial entre a região Centro-Sul e a região Norte-Nordeste, que experimentaram, neste mesmo período, produtividades de 56,0 t/ha e 78,5 t/ha, e 47,0 t/ha e 56,5 t/ha, respectivamente.
3. Existem no Brasil mais de 500 variedades comerciais de cana, produzidas principalmente pela Ridesa e CTC, porém as 20 principais ocupam 80% da área plantada. O Centro Cana IAC/APTA também participa do programa de melhoramento da cana, assim como CanaVialis, que é o mais novo membro do setor de melhoramento genético da cana-de-açúcar. As variedades atualmente mais utilizadas são a RB 72454 (13% de área) e SP 81-3250 (10%).
4. A evolução da colheita mecanizada tem se configurado como uma tendência irreversível no setor; em São Paulo, na safra 2003, a mecanização da colheita ocorreu em 25,9% da área colhida, enquanto na safra 2007 aumentou para 40,2%.

5. As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e sustentabilidade da cana-de-açúcar estão associadas com o melhoramento genético, a tecnologia da informação, as técnicas de plantio, os tratos culturais e a colheita.

Principais aspectos da fase agrícola – 2ª geração

1. Para viabilizar os avanços tecnológicos com o objetivo de aumentar a produção de bio-etanol e geração de excedentes de energia elétrica, por tonelada de cana processada, via hidrólise ou processo termoquímico, é necessário disponibilizar, na destilaria, a maior quantidade de fibra possível. Uma das alternativas para este fim é realizar a colheita da cana sem a queima prévia e recuperar uma fração significativa do palhiço disponível nos canaviais.
2. O estudo analisa o processo de colheita sem que se utilize a queimada, de maneira a viabilizar a técnica de plantio direto; e discute a mecanização atual da lavoura de cana-de-açúcar e as possibilidades de sua evolução como forma de viabilizar a eliminação das queimadas, o aproveitamento do palhiço, a redução das perdas de solo e água e, enfim, de promover a sustentabilidade do sistema, mesmo em áreas de expansão mais vulneráveis.
3. O plantio direto está vinculado à colheita de cana crua e ao tráfego intenso de equipamentos, ainda que estes fatores se apresentem, no momento, como entraves para a adoção em larga escala dessa técnica. A expectativa é que as limitações impostas pelos padrões atuais das máquinas e equipamentos usados sejam superadas pela adoção de um novo modelo de mecanização.
4. A proposta de tráfego controlado com Estrutura de Tráfego Controlado (ETC's) apresentada neste trabalho mostra bom potencial de viabilidade técnica e econômica, permitindo que o plantio direto se torne uma realidade em larga escala comercial, possibilitando paralelamente a eliminação das queimadas e a disponibilidade do palhiço para aproveitamento energético.
5. A biotecnologia amplia consideravelmente a variabilidade genética disponível, pois permite a utilização da variabilidade existente em todos os seres vivos. Assim, quando uma característica desejável não é encontrada no genoma da espécie de interesse, mas o gene responsável por essa característica é identificado em outra espécie, tal gene pode ser transferido para a espécie a ser melhorada. O prognóstico, segundo o Centro Cana IAC/APTA, é que as variedades transgênicas de cana, associada ao manejo varietal, promoverão um aumento de 30%, até 2025, no valor de TPH (tonelada de pol por hectare), que associa a produtividade agrícola (tonelada de cana por hectare) com a qualidade da cana (percentual de pol da cana).



6. Outra vertente seria um desenvolvimento focado em variedades de cana concebidas para fins energéticos, cujo conceito está relacionado a variedades de cana otimizadas para a máxima produção de energia.

2.1. Introdução

Em termos regionais, o Brasil apresenta dois períodos distintos de safra: de setembro a março no Norte-Nordeste, e de abril a novembro no Centro-Sul. Assim, o país produz bioetanol durante praticamente o ano todo, apesar de a produção de bioetanol na região Norte-Nordeste ser de apenas 10% do total nacional, que foi de 22,5 bilhões de litros em 2007. As melhores destilarias produzem aproximadamente 85 litros de bioetanol anidro por tonelada de cana. As usinas têm produção em torno de 71 kg de açúcar e 42 litros de bioetanol para cada tonelada de cana processada.



Figura 2-1: Localização das usinas de açúcar e bioetanol no Brasil

Fonte: CTC - NIPE (2005)

A Figura 2-1 apresenta a localização das usinas do país, com nítida concentração na Zona da Mata, na região Nordeste, e no estado de São Paulo, na região Sudeste, em destaque. Em geral, as áreas de cultivo da cana-de-açúcar localizam-se num raio de 25 km das usinas, em média, por motivos relacionados ao custo do transporte.

Merece destaque o estado de São Paulo, que produz próximo de 60% de toda a cana, açúcar e bio-etanol do país. O segundo maior produtor é o estado do Paraná, com 8% da cana moída no Brasil.

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de 100 países, e representa uma importante fonte de mão de obra no meio rural nesses países. Apesar desta difusão mundial, cerca de 80% da produção do planeta estão concentradas em dez países, como mostra a Tabela 2.1-1.

Tabela 2.1-1: Principais países produtores de cana-de-açúcar em 2006

| País | Área colhida (10 ⁶ ha) | Produção (10 ⁶ t) | % Área colhida | Produtividade (t/ha) |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Brasil | 6,153 | 455,3 | 30,2 | 74,0 |
| Índia | 4,200 | 281,2 | 20,6 | 67,0 |
| China | 1,220 | 100,7 | 6,0 | 82,5 |
| México | 0,668 | 50,6 | 3,3 | 75,7 |
| Tailândia | 0,936 | 47,7 | 4,6 | 51,0 |
| Paquistão | 0,907 | 44,7 | 4,5 | 49,3 |
| Colômbia | 0,426 | 39,8 | 2,1 | 93,4 |
| Austrália | 0,415 | 38,2 | 2,0 | 92,0 |
| Indonésia | 0,370 | 30,2 | 1,8 | 81,6 |
| Estados Unidos | 0,364 | 26,8 | 1,8 | 73,6 |
| Outros | 4,713 | 276,2 | 23,1 | 58,6 |
| Total | 20,372 | 1.391,4 | 100,0 | 68,3 |

Fonte: FAO, 2008

Observa-se que o Brasil e a Índia respondem, em conjunto, por pouco mais da metade da cana produzida mundialmente. Tal fato assume especial relevância quando se consideram possíveis expan-



sões da produção de cana, principalmente pela grande diferença de modelos de produção agrícola consagrados no Brasil (concentrados em grandes produtores) e pela Índia (baseados em pequenos produtores).

Apesar da importância econômica da cana-de-açúcar, sua cultura representa muito pouco em termos de ocupação de área, quando comparada àquelas dedicadas à produção de grãos. A área colhida de cana-de-açúcar no mundo foi de aproximadamente 20,4 milhões de hectares em 2006, enquanto que a área colhida de soja foi de 93,0 milhões de hectares, de milho correspondeu a 144,4 milhões de hectares, de arroz, a 154,3 milhões de hectares e a área colhida de trigo foi de 216,1 milhões de hectares.

No Brasil, a cana-de-açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área, bem atrás da soja e de milho, como pode ser visto na Tabela 2.1-2, devido, em particular, à excelente eficiência de conversão fotossintética da cana, que permite uma produtividade excepcional, em torno de 75 t/ha em média.

Tabela 2.1-2: Principais culturas agrícolas do Brasil em 2007

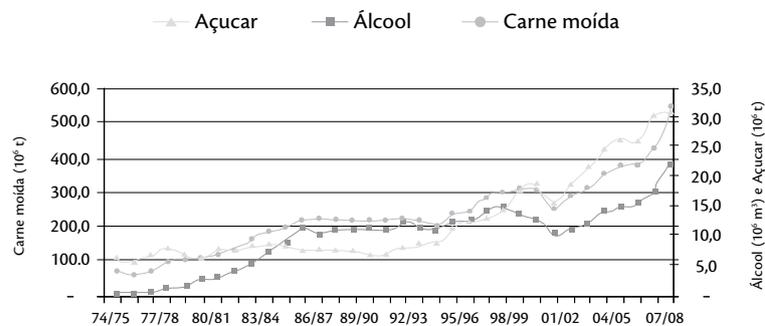
| Cultura | Área colhida (10 ⁶ ha) | Produção (10 ⁶ t) | % Área colhida* | Produtividade (t/ha) |
|------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Soja | 20,58 | 57,95 | 35,6 | 2,82 |
| Milho | 13,82 | 51,83 | 23,9 | 3,75 |
| Cana-de-açúcar | 6,69 | 515,82 | 11,6 | 77,10 |
| Feijão | 3,83 | 3,25 | 6,6 | 0,85 |
| Arroz | 2,90 | 11,05 | 5,0 | 3,81 |
| Café | 2,22 | 2,17 | 3,8 | 0,97 |
| Mandioca | 1,91 | 26,92 | 3,3 | 14,09 |
| Trigo | 1,85 | 4,09 | 3,2 | 2,21 |
| Algodão herbáceo | 1,12 | 4,09 | 1,9 | 3,65 |
| Laranja | 0,80 | 18,50 | 1,4 | 23,13 |
| Outros | 2,06 | 7,22 | 3,6 | 3,50 |
| Total | 57,78* | não avaliado | 100,0 | --- |

* O valor refere-se ao conjunto formado pelas 19 maiores culturas agrícolas do Brasil em termos da área colhida em 2007

Fonte: IBGE, 2008

A produção de cana no Brasil cresceu de forma acelerada após o estabelecimento do Proálcool, em novembro de 1975, passando de um patamar de pouco menos de 100 milhões de toneladas por ano para um novo patamar em torno de 220 milhões de toneladas por ano, em 1986/87. O cultivo da cana só voltou a crescer na safra 93/94, desta vez, motivado pelo aumento das exportações de açúcar. A partir daí, o crescimento da produção tem ocorrido de forma contínua (com exceção do período entre 1998 a 2001, quando houve uma queda gerada pela crise no setor). Com o sucesso dos veículos flex fuel, lançados no mercado nacional em 2003, a produção de cana-de-açúcar voltou a ter um crescimento acelerado, para atender ao aumento da demanda de álcool hidratado, se aproximando de 520 milhões de toneladas em 2007. A Figura 2.1-2 mostra a evolução brasileira da produção de cana, açúcar e etanol.

Gráfico 2-2: Evolução da produção brasileira de cana, açúcar e etanol



Fonte: IBGE, Unica (2008)

Esse incremento recente causado pelo aumento da demanda interna por álcool hidratado e expectativa de ampliação da exportação impulsionou a expansão de aproximadamente 100 novas unidades produtoras nos últimos anos, principalmente no oeste do estado de São Paulo e seu entorno, como se observa na Figura 2-3.

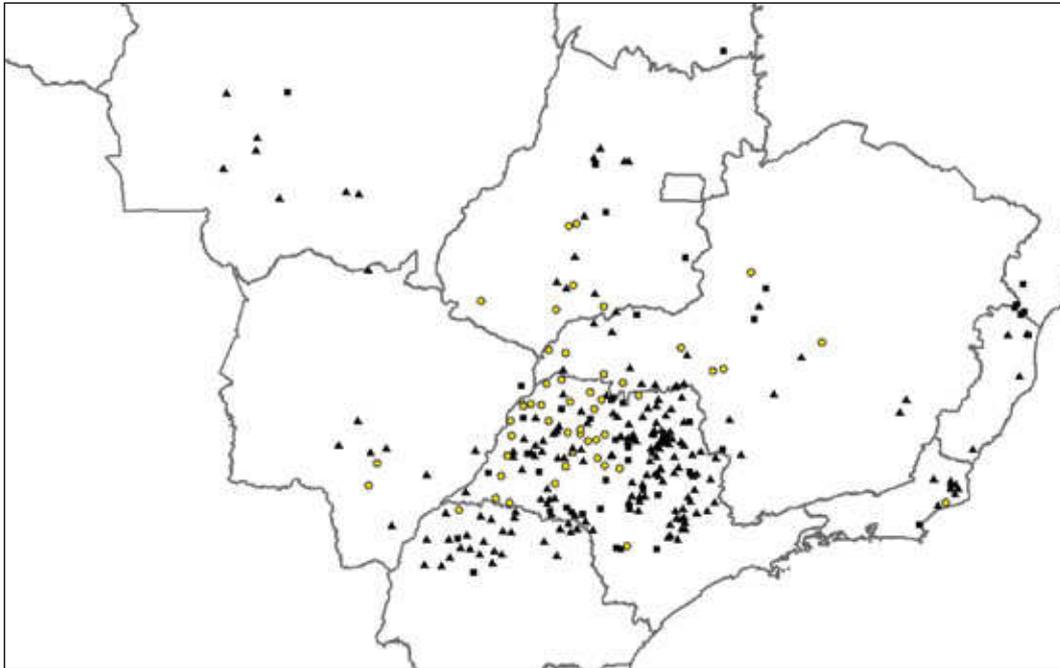


Figura 2-3: Localização das novas usinas previstas (em amarelo)

2.2. Fase agrícola - 1ª geração

2.2.1. Plantio da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, pois após o plantio, ela é cortada várias vezes antes de ser replantada. Seu ciclo produtivo é, em média, de seis anos com cinco cortes. As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e sustentabilidade da cana-de-açúcar estão associadas com o melhoramento genético, o gerenciamento agrícola, as técnicas de plantio, os tratamentos culturais e a colheita.

A fase do plantio é constituída das seguintes operações: eliminação da soqueira (ou limpeza do terreno, se for o caso de uma área nova), sub-solagem, calagem, gradagem ou aração, terraceamento, sulcação, distribuição de torta de filtro e adubo, distribuição de mudas, cobertura de mudas, pulverização de herbicida e quebra de sulco.

Essas operações são realizadas com o auxílio de equipamentos e implementos específicos. A operação de distribuição de mudas é feita ainda manualmente na maioria dos casos, mas a mecanização tem avançado nos últimos anos. Existem duas opções de utilização para a época de plantio da cana:

- Cana de 12 meses: a cana é plantada pouco tempo após a última colheita e será colhida no ano seguinte; nesta opção, a terra será sempre cultivada com cana, mas a produtividade é mais baixa, por isso ela só é adotada em cerca de 20% dos casos;
- Cana de 18 meses: após a última colheita do canavial, a terra fica vários meses descansando ou recebe uma cultura de rotação de amendoim, soja, girassol ou algum vegetal que ajude a nitrogenar o solo; neste caso, a produtividade do primeiro corte é muito mais alta, mas haverá um espaço de cerca de dois anos entre o último corte do ciclo anterior e o primeiro corte do novo ciclo.

Após o primeiro corte, que corresponde à chamada cana-planta, o canavial é colhido em média mais quatro vezes (cana soca) a partir da rebrota da cana cortada (soqueira). Na Tabela 2.2-1, é apresentado um ciclo típico, representado por valores médios de cerca de 100 usinas da região Centro-Sul, nas safras de 1998/99 a 2002/03.

Assim, a produtividade média em área colhida é de 82,4 t/ha, e em área plantada (5 cortes, 6 anos) é de 68,7 t/ha/ano.

De maneira geral, a produtividade agrícola da cana-de-açúcar apresenta uma acentuada variabilidade que ocorre em função de diversos fatores, como é o caso das características da variedade plantada, da composição e quantidade do adubo aplicado, das propriedades físico-químicas do solo, do manejo das pragas e plantas invasoras, da disponibilidade hídrica e das técnicas de plantio, tratamentos culturais e colheita adotada. A complexidade dos fenômenos biológicos e físicos que participam da interação entre a planta, o solo e o ambiente fazem com que o gerenciamento dos referidos fatores exija recursos para a captação e análise de uma elevada quantidade de dados. Desse modo, com a utilização da tecnologia da informação, auxiliada pela agricultura de precisão na geração dos bancos de dados, é possível extrapolar para as extensas áreas de expansão da cana-de-açúcar o *know how* de experientes profissionais do setor sucroalcooleiro, que ao longo de anos de observação e análise conseguiram obter excelentes resultados.



Tabela 2.2-1: Ciclo típico de cana-de-açúcar na região Centro-Sul

| Corte | Produtividade em área colhida (t/ha) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1º Cana-planta (18 meses) Cana-planta (12 meses) | 113 (80%) 77 (20%) *Média 105,8 |
| 2º (1a. soca) | 90,0 |
| 3º (2a. soca) | 78,0 |
| 4º (3a. soca) | 71,0 |
| 5º (4a. soca) | 67,0 |
| Média de cinco cortes | 82,4 t/ha |

Fonte: I.C. Macedo et al (2004)

2.2.2. Trato cultural da soqueira

As operações de trato da soqueira dependem do tipo de colheita e situações específicas do canavial. As principais são: enleiramento do palhicho (no caso de corte de cana crua), cultivo e adubação de soqueiras e aplicação de herbicidas. A aplicação de adubos depende das condições do solo, produtividade do canavial e outros fatores; o uso da vinhaça (soqueira) e da torta de filtro (plantio) reduz a necessidade de adubos químicos e melhora o teor de matéria orgânica dos solos.

A vinhaça, ou vinhoto, é um resíduo industrial que, em meados da década de 1970, era lançado em corpos d'água (como riachos, rios e canais abertos), provocando prejuízo ambiental. Após estudos, verificou-se que a vinhaça apresenta grande concentração de nutrientes (como potássio, matéria orgânica, nitrogênio), o que estimulou o aproveitamento desse resíduo nas lavouras de cana para aumentar a produtividade dos canaviais e trazer benefícios econômicos e ambientais.

A Tabela 2.2-2 indica valores médios do uso de fertilizantes.

Tabela 2.2-2: Taxas médias de aplicação de fertilizantes

| Macronutriente | Taxa de Aplicação (kg/ha) | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | Cana planta | | Cana soca | |
| | Situação 1 (*) | Situação 2 (**) | Situação 1 (*) | Situação 2 (**) |
| Nitrogênio-N | 30 | - | 80 | 90 |
| Fósforo-P ₂ O ₅ | 120 | 50 | 25 | - |
| Potássio-K ₂ O | 120 | 80 | 120 | - |

* Situação 1: sem aplicação de vinhaça ou torta de filtro

** Situação 2: com aplicação de vinhaça (soca) e torta de filtro (planta)

Fonte: CTC (2004)

2.2.3. Melhoramento genético da cana

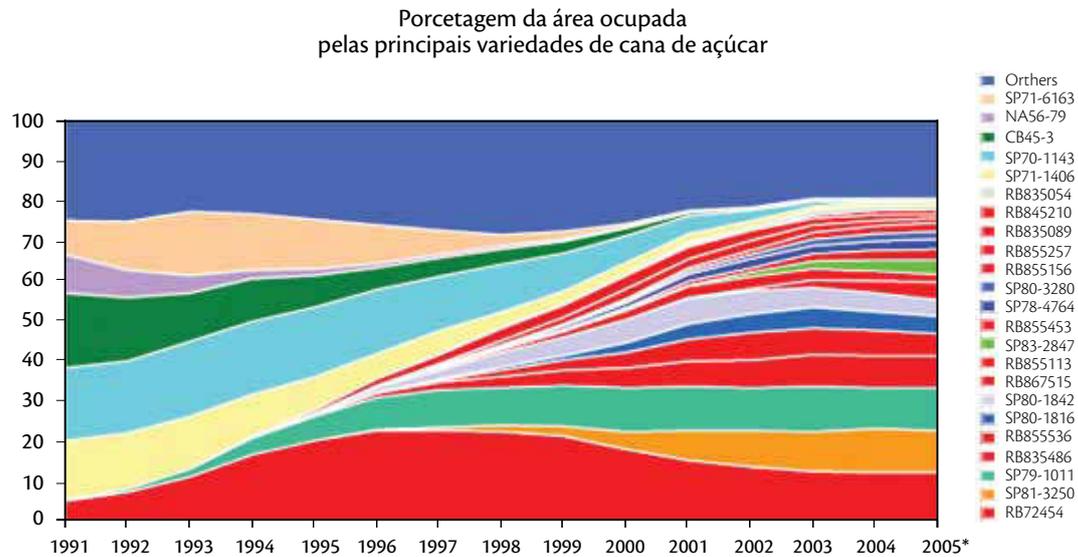
Existem no país quatro programas de melhoramento genético da cana: Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucrialcooleiro – Ridesa (parte do antigo Planalsucar – variedades RB), Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (antigo Centro de Tecnologia Copersucar - variedades SP), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e CanaVialis (fundada em 2004, trabalha em conjunto com a Allelyx, empresa dedicada ao desenvolvimento de variedade transgênicas não comerciais). Cumpre salientar que tanto o CTC quanto a CanaVialis (e Allelyx) são empresas privadas operando totalmente com recursos supridos por seus mantenedores (cerca de 176 usinas e associações de plantadores de cana, no caso do CTC).

Existem no Brasil mais de 500 variedades comerciais, produzidas principalmente por Ridesa e CTC, porém, as 20 principais ocupam 80% da área plantada com cana. Em 2003, as variedades mais utilizadas foram a RB 72454 (13% de área) e SP 81-3250 (10%). A Figura 2-3 mostra a dinâmica do uso de variedades; pode-se notar que, em 1991, cerca de 57% da área do canavial brasileiro era ocupado pelas quatro principais variedades. Essa estratégia de limitar o uso de cada variedade a apenas uma



fração do canavial é fundamental para diminuir o impacto de eventuais doenças que venham a atacar variedades susceptíveis.

Gráfico 2-4: : Evolução do uso de variedades de cana no Brasil



Fonte: CanaVialis (2007)

Diante da crescente necessidade de maximizar a produtividade, o melhoramento genético, reconhecido historicamente como imprescindível para a sustentabilidade da cana-de-açúcar, fortalece seu potencial de contribuição ao agronegócio canavieiro com o auxílio de técnicas de transgenia ainda não empregadas comercialmente. Cabe destacar que a seleção das novas variedades não está priorizando o aumento da eficiência fotossintética para produção de biomassa, e sim o potencial de adaptação dessas variedades às condições edafoclimáticas das novas regiões de expansão da cana-de-açúcar. Almeja-se com isso atingir mais rapidamente, para as áreas com menor produtividade, os níveis de produtividade das regiões mais produtivas.

O melhoramento genético tradicional realiza o cruzamento entre variedades da mesma planta, envolvendo milhares de genes, sendo que muitos deles não apresentam as características desejadas. É um processo demorado que, no caso da cana-de-açúcar, pode levar de 12 a 15 anos desde a seleção das sementes que vão gerar os *seedlings* até a liberação da variedade.

No período de 1995 a 2006, foram lançados, no Brasil, 82 cultivares de cana-de-açúcar (Ridesa com 31 variedades, Copersucar com 26 variedades, CTC com 9 variedades e IAC com 16 variedades), proporcionando um ganho de produtividade agrícola de quase 1% ao ano. Este ganho está associado à disponibilidade de variedades que permitem um manejo varietal eficiente, o qual procura alocar diferentes variedades comerciais a um determinado ambiente de forma a proporcionar um melhor desempenho agrícola. Deste modo, comprova-se a importância do desenvolvimento de uma variedade específica para cada região, que pode ser caracterizada por vários fatores bióticos (pragas, doenças, nematóides e ervas daninhas) e abióticos (regime climático, temperatura, luz, pH do solo, umidade e solo).

O projeto Genoma Cana, iniciado em 1998, teve como objetivo mapear os genes envolvidos com o desenvolvimento e o teor de sacarose da planta, assim como sua resistência a doenças e às condições adversas de clima e solo. Até o final do ano 2000, já haviam sido identificados mais de 40 mil genes da cana-de-açúcar.

Apesar dos avanços conseguidos e previstos na área da biotecnologia da cana-de-açúcar, ainda existe a necessidade de investimentos para o desenvolvimento de equipamentos que auxiliem na coleta de dados e que viabilizem a identificação dos genes, incentivos ao prosseguimento dos estudos básicos voltados para uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos biológicos e criação de um banco de germoplasma nacional para a cana-de-açúcar.

2.2.4. Controle biológico de pragas

As principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil são a broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), o besouro migdolos (*Migdolus fryanus*), a cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*) e os nematóides. As lagartas desfolhadoras, as formigas cortadeiras e os cupins também atacam a cana, mas seus controles já são bem dominados e os prejuízos são mantidos em níveis baixos.

A broca da cana-de-açúcar, nos primeiros anos do Proálcool, causava enormes prejuízos nos canaviais, onde níveis de infestação acima de 10% eram comuns. Na primeira metade da década de 1980, foi intensificado o controle biológico pela liberação nos canaviais de parasitóides que são predadores da broca. O principal parasitóide utilizado é a vespa *Cotesia flavipes* e este tipo de controle reduziu os níveis de infestação para menos de 3%, nível que vem sendo mantido desde o início da década de 1990.

A ocorrência da cigarrinha nos canaviais tem aumentado com o crescimento da colheita de cana sem queima. Os estragos causados por esta praga podem atingir a média de 15 t/ha/ano, além da



redução de 1,5% no teor de açúcar (UNICA, 2005). O controle biológico mais eficiente é pelo fungo *Metarhizium anisopliae* e seu uso tem se expandido rapidamente.

As demais pragas são controladas pelo uso de inseticidas, iscas tóxicas e nematicidas.

2.2.5. Práticas agrícolas

Práticas agrícolas corretas são imprescindíveis para a sustentabilidade da cultura da cana-de-açúcar. Esta área tem evoluído de forma contínua com efeitos significativos nos custos de produção, produtividade e longevidade dos canaviais.

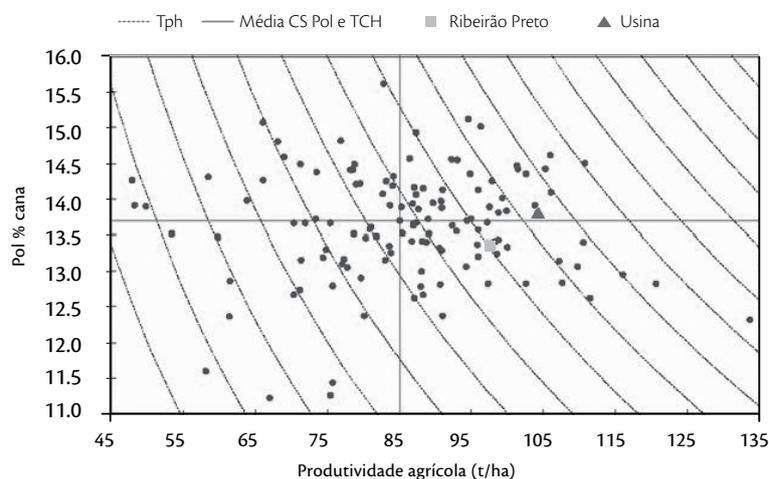
Os principais pontos são: o desenvolvimento de equipamentos e implementos para reduzir a compactação dos solos, a aplicação correta de fertilizantes de acordo com a necessidade de cada talhão, sistemas mais racionais e econômicos de transporte da cana, adaptações das atividades agrícolas (plantio, adubação e aplicação de herbicidas) para os novos sistemas de colheita (mecanizada e sem a prática das queimadas) e o uso de maturadores químicos no início da safra.

O conceito de ambiente de produção, que seleciona as variedades a serem plantadas a partir dos mapas de solos e condições climáticas, e aplicação dos adubos nas quantidades otimizadas, está mudando radicalmente o dia a dia dos canaviais, contribuindo significativamente para a redução dos custos de produção da cana.

Apesar do vasto conhecimento e benefícios comprovados das tecnologias mais modernas para a produção de cana-de-açúcar, a difusão destas práticas tem ocorrido de forma lenta em algumas usinas. No nível nacional, é provável que os ganhos de produtividade e reduções de custos de produção sejam mais significativos com o nivelamento por cima do uso destas tecnologias existentes de que pelo uso das tecnologias inovadoras que continuam entrando. Em suma, é preciso encontrar meios de diminuir a inércia no uso de melhores práticas já comprovadas.

A Figura 2-4 mostra a variabilidade entre as usinas de dois indicadores econômicos importantes: a produtividade agrícola e o teor de sacarose da cana.

Gráfico 2-5: Variação da produtividade agrícola e teor de sacarose entre usinas

 Controle de Produção Agronômica Mensal - Safra 05/06 - Acumulado até agosto
 Performance das usinas em toneladas de pol/hectare (TPH) - Cana própria


Fonte: CTC (2004)

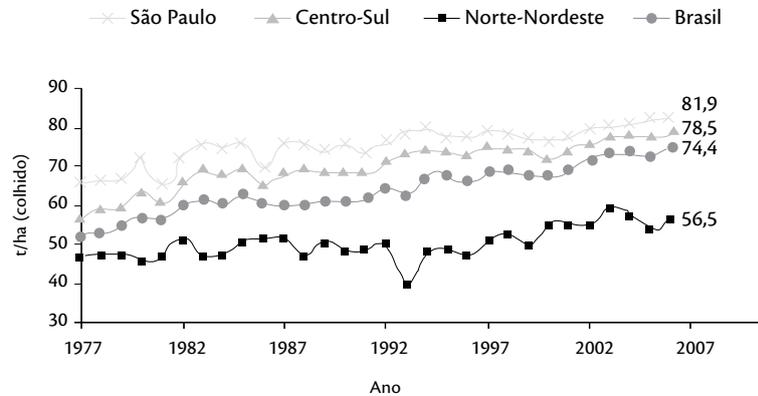
2.2.6. Gerenciamento agrícola (GA)

A introdução da informática para o gerenciamento e simulação das operações agrícolas foi um dos fatos de maior impacto na redução dos custos de produção da cana-de-açúcar no Brasil. Os programas e sistemas desenvolvidos para este fim permitem a redução da frota de caminhões, tratores, colhedoras e implementos, maximização da quantidade de açúcar por hectare, otimização da operação das frentes de corte, avaliação do desempenho *on-line* e controle de todas as operações agrícolas.

Os ganhos de produtividade da cultura da cana são mostrados na Figura 2.2-3. Pode-se notar que a produtividade do Centro-Sul, e principalmente de São Paulo, é amplamente superior à do Nordeste; uma grande parte dessa diferença é explicada por diferenças de solo e clima, mas também há um forte componente tecnológico, uma vez que as variedades de cana que existem foram desenvolvidas, prioritariamente, para a região Centro-Sul.



Gráfico 2-6: Evolução da produtividade regional de cana no Brasil



Fonte: IBGE (2008)

Com efeito, as usinas que atualmente conseguem as melhores produtividades dispõem de equipes técnicas próprias ou assessorias com larga experiência acumulada durante um período longo de observação e análise, por meio do qual conseguem um manejo de variedades, adubação e tratos culturais mais aprimorados ou próximos de uma condição ótima. A extensão desse modelo às diversas áreas de expansão da cana-de-açúcar é essencial para reduzir a grande variabilidade nas produtividades obtidas nas diversas regiões produtoras do país, como acontece atualmente.

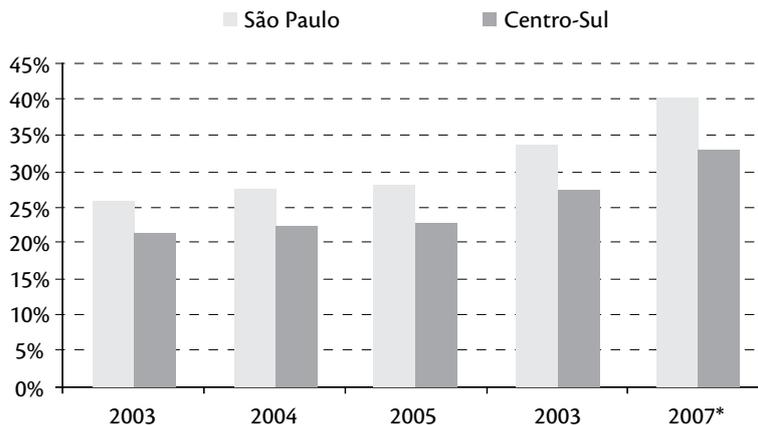
2.2.7. Colheita

A colheita da cana-de-açúcar no Brasil está em franca evolução, do sistema tradicional de colheita manual de cana inteira com queima prévia do canavial, para o sistema de colheita mecanizada de cana picada sem queima do canavial. A principal razão para esta transição está nas leis Federal e Estadual (para São Paulo) que estabelecem cronogramas para a redução e fim das queimadas nos canaviais. A Figura 2-6 mostra a evolução da colheita de cana crua no estado de São Paulo e na região Centro-Sul, no período de 2003 a 2007.

O sistema australiano de colheita de cana picada, atualmente em fase de implantação no Brasil, apresenta sérias restrições para ser considerado como a tecnologia do futuro no horizonte atual de grande expansão do setor canavieiro. As duas restrições principais desse sistema de colheita são suas incompatibilidades com o plantio direto em função da compactação gerada pelo tráfego intenso e sua incapacidade de colher eficientemente o palhicho com qualidade e custo atrativos para sua in-

tegração ao processo de produção de etanol. Uma terceira restrição importante está associada à incapacidade de as colhedoras de uma linha operarem em terrenos com inclinação superior a 12%. Assim, aceita-se, atualmente, que a expansão da cana-de-açúcar deva acontecer em áreas planas.

Gráfico 2-7: Evolução da colheita de cana sem queima prévia, cana crua, em São Paulo e Centro-Sul



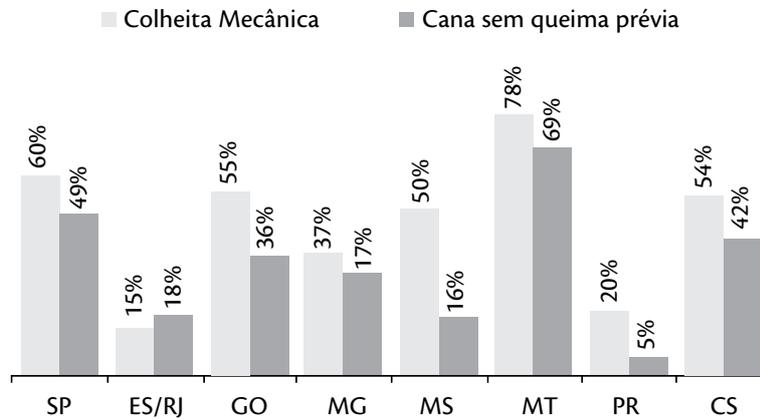
* valores até 08/2007

Fonte: CTC - UNICA (2008)

Na Figura 2-7, verifica-se que o estado de Mato Grosso concentra o maior índice de colheita mecânica e também de colheita de cana sem queima prévia, cana crua, 78% e 69%, respectivamente. Em seguida, aparece o estado de São Paulo, com 60% da colheita realizada mecanicamente e 49% da cana colhida sem queima prévia. A diferença entre o percentual de cana colhida mecanicamente e cana colhida sem queima prévia se dá em decorrência da colheita mecanizada de cana queimada.



Gráfico 2-8: Colheita mecânica e colheita de cana sem queima prévia
– Safra 2008/09 – dados até junho/2008



Fonte: CTC (2008)

O conceito atual de mecanização, com restrição à declividade superior a 12%, já bastante consolidado, foi de fato imposto pelos equipamentos de colheita. Fatores positivos como solo fértil, curta distância até a indústria, proximidade de rodovias asfaltadas e a presença de fornecedores culturalmente adaptados à produção da cana, deixam, frequentemente, de ser aproveitados em função do fator declividade do terreno. No entanto, a engenharia de veículos fora de estrada dispõe, atualmente, de recursos como tração e direção em quatro rodas, adequados para garantir, com custos competitivos, a mobilidade das colhedoras em áreas com inclinações muito superiores ao limite de 12%.

O sistema de cana picada, mesmo sendo uma tecnologia ainda muito jovem, tende a se consolidar como o processo padrão para a colheita da cana-de-açúcar no mundo, embora apresente limitações que justificam sua reformulação, como: perdas elevadas de matéria-prima, baixa qualidade da matéria-prima (palhico e terra), elevado investimento, baixa estabilidade direcional e ao tombamento das colhedoras, danos às soqueiras e ao solo. Atualmente, é possível, também, relacionar várias vantagens desse sistema de colheita. São elas: permitir a colheita da cana crua e, dessa forma, viabilizar a produção perante a legislação ambiental vigente; apresentar custos de colheita competitivos e ser a única opção disponível no mercado com oferta de peças e serviços suficientes para viabilizar as operações. Mesmo assim, olhando para o futuro promissor da agroindústria canavieira, cabe uma análise mais crítica da colheita que promova caminhos tecnológicos alternativos.

A colheita da cana envolve cinco operações muito simples: o corte dos colmos na base, o corte dos ponteiros, a alimentação dos colmos para o interior da colhedora, a retirada das folhas e a picagem (opcional). No entanto, ainda hoje existe uma carência preocupante de processos para efetuar essas operações eficientemente. O corte de base, se realizado manualmente, envolve problemas ergonômicos que afastam a mão de obra dos canaviais e continua a gerar tensões entre produtores e agremiações de cortadores. O corte de base mecanizado está associado a perdas importantes e contaminação da matéria-prima com terra, além de demandar potência em níveis 30 a 40 vezes superiores aos necessários para o corte dos colmos propriamente ditos. O corte dos ponteiros frequentemente não é realizado. No caso da colheita mecânica, por deficiência dos mecanismos responsáveis por essa função; e no corte manual, porque prejudica a produtividade do cortador.

O despalhamento foi historicamente resolvido com a da queima, mas na medida em que a legislação impede essa prática, verifica-se um aumento dos custos pelo baixo rendimento no corte manual e pela baixa eficiência e altas perdas no corte mecânico. Deve-se considerar que, dependendo das condições do canavial e das opções feitas para operar as colhedoras, com relação ao nível de impurezas, qualidade do corte de base e velocidade de deslocamento, a soma das perdas visíveis e invisíveis estará, na maioria dos casos, entre 5% e 10%. Considerando os custos já incorridos na produção da cana até o momento da colheita, assim como o impacto dessas perdas na demanda de áreas para plantio, pode-se considerar como inaceitável esse nível de perdas.

O tráfego intenso dos equipamentos de colheita e transporte nas entrelinhas de plantio representa, também, uma restrição importante deste sistema de colheita. Já de longa data, os especialistas em solos orientam conservar a estrutura do solo para conseguir manter níveis de produtividade elevados. A colheita mecânica praticada atualmente não está alinhada com essa recomendação. Produzir com um mínimo de interação com o meio é o grande desafio da sustentabilidade.

A Tabela 2.2-3 apresenta uma relação dos principais equipamentos agrícolas utilizados atualmente no processo de produção da cana-de-açúcar. O modelo de mecanização atual envolve um esquema de preparo do solo convencional que utiliza operações pesadas de subsolagem, gradagens médias e pesadas ou aração.

A mecanização da cana-de-açúcar tem apresentado um processo de aprimoramento contínuo desde 1975, fundamentada na padronização de operações, adequação da potência dos tratores a implementos com maior capacidade de trabalho, programação e controle da manutenção, treinamento de operadores, incorporação de novos equipamentos para plantio, aplicação de torta e eliminação de soqueira, entre outros. Essa evolução contribuiu para que os custos de produção, no Brasil, se tornassem os menores do mundo. Pode-se afirmar que os principais responsáveis por essa evolução



foram os próprios técnicos das usinas, apoiados por fabricantes regionais de implementos que compartilhavam o espírito intuitivo de desenvolvimento, visando à redução de custos, assim como simplicidade e qualidade das operações. Esse processo evolutivo tende a se estabilizar, com ganhos cada vez menores, na medida em que os processos foram aprimorados até o patamar tecnológico atual.

Tabela 2.2-3: Relação das principais atividades utilizadas na produção da cana-de-açúcar no cenário atual

| | Atividade |
|------------------|-----------------------------------------|
| Preparo do solo | Calagem |
| | Subsolagem |
| | Gradagem |
| | Adubação |
| Plantio | Sulcação, adubação e cobertura mecânica |
| | Distribuição manual de mudas |
| Tratos Culturais | Cultivo tríplice operação 2L |
| Colheita | Manual (70%) |
| | Mecânica picada 1L |
| Transporte | Treminhão |

L: Linhas de plantio, trato cultural ou colheita sendo processada em cada passada do equipamento

O ciclo de produção da cana-de-açúcar envolve operações que demandam níveis elevados de energia mecânica se comparado com outras culturas. Entre essas operações, encontram-se o revolvimento ou preparo do solo para o plantio, o transporte de insumos para o plantio e tratos culturais e a colheita/retirada de aproximadamente 100 t/ha de produção, incluindo o palhiço, na medida em que seu aproveitamento seja implantado. O preparo do solo e o tráfego agem de forma antagônica sobre o solo. O preparo desagrega o solo para criar um ambiente propício para o desenvolvimento da planta, e as rodas ou esteiras dos equipamentos produzem o efeito contrário, ao quebrarem a estrutura do solo, provocando adensamento e redução da porosidade.

Em ambos os casos, são necessários investimentos em equipamentos e energia que produzem efeitos que agem contra a sustentabilidade. A planta requer uma disposição de partículas de solo especialmente distribuídas para permitir a infiltração de água, a circulação de gases e a propagação das raízes, dentro de um arranjo estruturalmente frágil. As rodas promovem uma reacomodação das partículas que reduz a porosidade do solo ao criar um arranjo de partículas estruturalmente forte para suportar as cargas atuantes.

2.2.8. Transporte

O transporte da cana também tem evoluído muito nos últimos anos, principalmente com a atuação do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em parceria com fabricantes de carrocerias. O objetivo principal tem sido sempre reduzir os custos de transporte e se adaptar às mudanças no sistema de colheita. A distância média de transporte (do campo até as usinas) no Centro-Sul gira em torno de 25 km e tem aumentado no passado recente, acompanhando o contínuo aumento de escala das usinas.

Inicialmente utilizava-se o caminhão simples, com apenas um reboque. Posteriormente, começou-se a acoplar dois reboques ao caminhão, chamado de romeu e julieta, sendo que o segundo reboque é engatado no primeiro por meio de um sistema denominado rala - trata-se de um *dolly* aparafusado, com um sistema de cremalheira.

O treminhão é composto por um conjunto romeu e julieta, no qual se acopla um reboque (ou julieta), ou seja, tem-se agora um caminhão e três reboques.

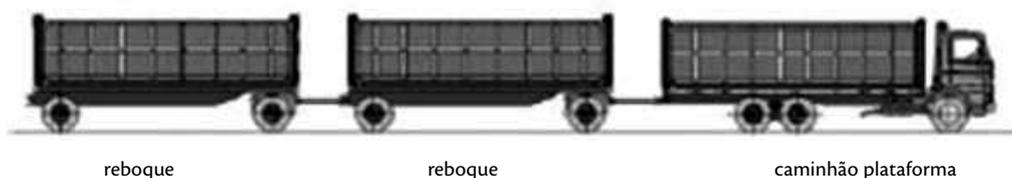


Figura 2-9: Treminhão

Fonte: adaptado de Silva (2006)

O Rodotrem constitui-se numa combinação de dois semirreboques ligados por um *dolly* de dois eixos. Esta combinação atinge possui um peso bruto total (PBTC) de 74 toneladas, o que aumenta em 64% a capacidade de carga transportada (comparando-se com uma combinação tradicional de três eixos (6x2). Esse veículo necessita, por lei, ser tracionado por caminhão 6x4. No momento da solicitação da licença (A E T - Autorização Especial de Trânsito), é preciso definir o trajeto a ser percorrido pelo veículo.

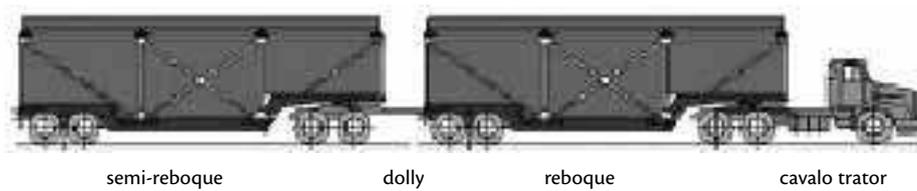


Figura 2-10: Rodotrem

Fonte: adaptado de Silva (2006)

É possível, ainda, encontrar composições com mais de três reboques acoplados, como mostra a Figura 2-10. Esse tipo de veículo tem restrições quanto aos locais onde pode trafegar, devido à sua estrutura.



Figura 2-11: Composições com cinco e seis reboques

Os principais tipos de transporte de cana utilizados e os respectivos desempenhos são mostrados na Tabela 2.2-4.

Tabela 2.2-4: Tipos de transporte de cana

| Tipo | Carga (t) | Consumo de diesel (ml/t/km) |
|------------------|-----------|-----------------------------|
| Caminhão simples | 15 | 30 |
| Romeu e Julieta | 28 | 22 |
| Treminhão | 45 | 19 |
| Rodotrem | 58 | 16 |

Fonte: CTC (2004)

2.3. Fase agrícola - 2ª geração

2.3.1. Recolhimento e armazenamento do palhiço

Para viabilizar os avanços tecnológicos na direção de aumentar a produção de bioetanol e geração de excedentes de energia elétrica, por tonelada de cana processada, via hidrólise ou processo termoquímico, é necessário disponibilizar, na usina, a maior quantidade de fibra possível. Uma das alternativas para este fim é realizar a colheita da cana sem a queima prévia e recuperar uma fração significativa do palhiço disponível nos canaviais.

Conceitualmente, o palhiço é composto pelas folhas secas, folhas verdes e pelo ponteiro da cana-de-açúcar. Atualmente, esta fonte não é aproveitada, porém, esta situação será revertida em médio prazo, levando-se em conta que a legislação ambiental prevê a extinção gradativa da prática de remoção do palhiço pelo fogo.

2.3.1.1. Alternativas para recolhimento do palhiço

No estudo do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), por meio do Projeto BRA/96/G31, foram consideradas três alternativas para a recuperação do palhiço, utilizando colheita mecânica de cana crua, descritas a seguir:

Alternativa 1 - Ventiladores da colhedora ligados: o palhiço é deixado no campo, onde é enfiado e transportado até a usina para ser posteriormente picado antes da queima;

Alternativa 2 - A colhedora de cana está com os ventiladores de limpeza desligados: o palhiço é transportado junto com a cana e a separação entre eles ocorre em uma Estação de Limpeza a Seco instalada na usina;

Alternativa 3 - O sistema de limpeza secundário da colhedora está desligado e o sistema primário trabalha em uma velocidade reduzida: conseqüentemente, ocorre somente uma limpeza parcial da cana durante a operação de colheita, deixando uma camada pouco densa no chão, onde o palhiço transportado junto com a cana é separado em uma Estação de Limpeza a Seco instalada na usina.

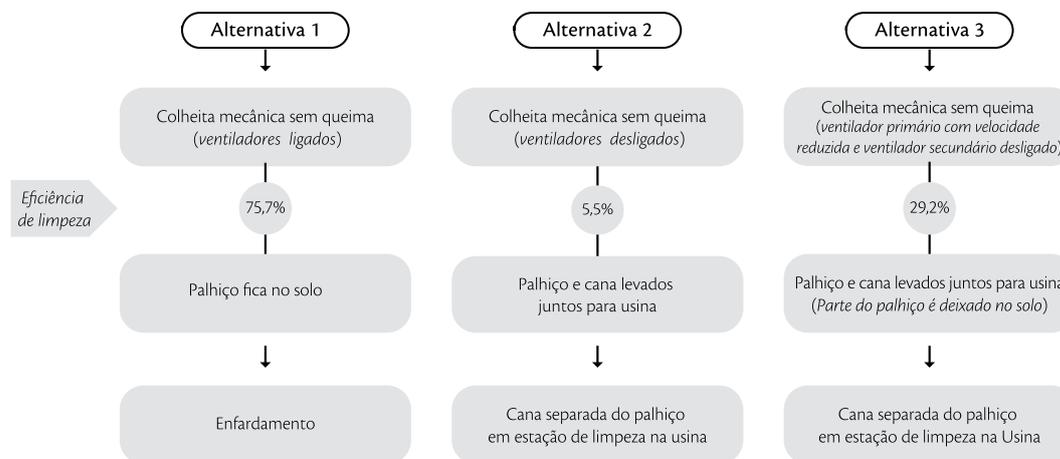


Figura 2-12: Alternativas para a recuperação do palhiço

Fonte: Projeto BRA/96/G31

A Tabela 2.3-1 apresenta os custos de recuperação das três alternativas estudadas; pode-se observar que o custo da Alternativa 2 é bastante superior às outras; isto surge como consequência do critério de alocação de custos aplicado no estudo pelo qual todo o aumento de custo do transporte da cana é alocado ao palhiço, sendo que este participa da carga com uma tonelagem muito inferior à da cana.

Tabela 2.3-1: Custo de recuperação do palhiço – base seca (US\$/t)

| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Palhiço posto na usina ** | 9,61 | 23,23 | 2,74 |
| Separação entre o palhiço e a cana | -- | 2,79 | 3,69 |
| Processamento do palhiço | 0,89 | 0,85 | 1,14 |
| Custo total | 10,50 | 26,87 | 7,57 |

* 1 US\$ = R\$ 3,00

** Para a alternativa 1, estão incluídas as seguintes operações: enleiramento, enfardamento, carregamento/descarregamento e transporte. Para as alternativas 2 e 3, as operações são: transporte interno (transbordo) e transporte até a usina (caminhões).

Fonte: Projeto BRA/96/G31

No estudo de Michelazzo (2005), foi analisada a recuperação do palhiço por meio de um modelo de cálculo de custo que envolve eficiências e capacidades operacionais que compõem cada sistema de recolhimento do palhiço. O estudo utiliza máquinas para o enleiramento, recolhimento, adensamento, carregamento, transporte e redução de tamanho do palhiço.

2.3.1.2. Caracterização dos sistemas

A separação entre o palhiço e os colmos de cana pode ser efetuada no campo ou na usina, como ilustra a Figura 2.-12.

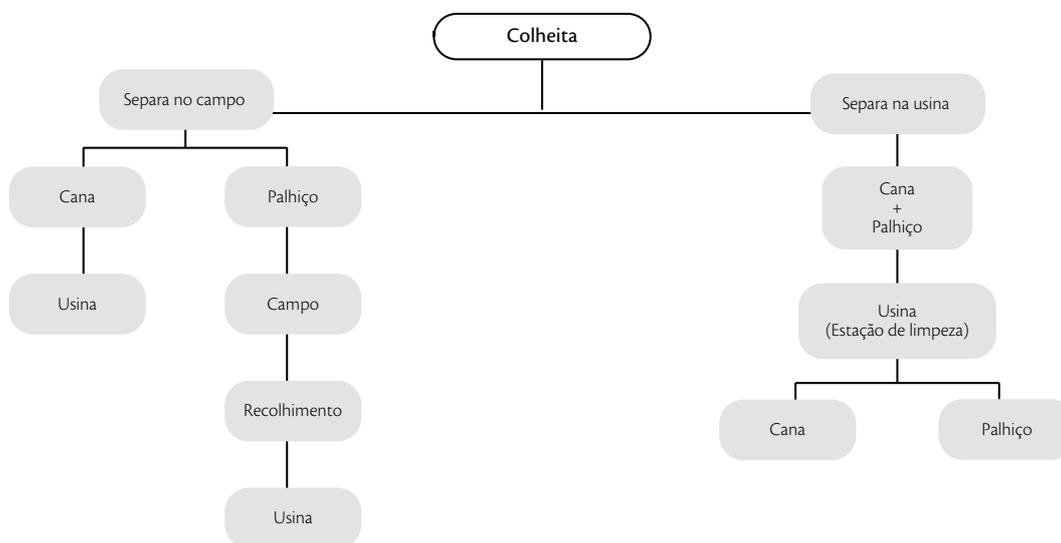


Figura 2-13: Recuperação do palhiço com separação no campo e na usina

A produtividade do palhiço foi estimada em 10 t/ha, base seca, com taxa de retirada de 50%, portanto, a quantidade de palhiço recolhido é de cerca de 5 t/ha (MICHELAZZO,2005).

Tabela 2.3-2: Comparação entre o custo dos estudos de Michelazzo e do Projeto BRA/96/G31 (US\$/t)

| Sistema de recuperação | Michelazzo | Projeto BRA/96/G31 |
|------------------------|------------|--------------------|
| Enfardamento | 14,87 | 10,50 |
| Colheita integral | 6,87 | 26,87 |

* 1 US\$ = R\$3,00

2.3.1.3. Alternativas para armazenamento do palhiço

Para o armazenamento do palhiço, foram analisados seis cenários com o objetivo de identificar aqueles que proporcionam a melhor relação custo-benefício. As análises contemplaram a produtividade de cada composição, com sua respectiva demanda de investimento e os custos operacionais. Para efeito de cálculo, foi utilizada a configuração da destilaria padrão (apresentada no Capítulo 3), dados fornecidos pelo setor de máquinas e implementos agrícolas, além dos resultados obtidos no Projeto BRA/96/G31.

Tabela 2.3-3: Configuração da destilaria padrão

| Indicador | Previsão |
|----------------------------------|---------------------|
| Moenda/ano safra | 2.000.000 toneladas |
| Produtividade agrícola | 71,42 tc/hectare |
| Palhiço disponível no campo* | 280.000 toneladas |
| Palhiço utilizado na indústria** | 140.000 toneladas |

(*) Considerando 140 kg de palhiço para cada tonelada de cana (base seca)

(**) Considerando que será deixado, aproximadamente, 50% do palhiço no campo e o resto será transportado para a usina

As análises consideraram a utilização do palhiço pela destilaria, utilizado para a queima ou para hidrólise. A característica comum em ambos é a desejável porcentagem mínima de impurezas minerais. Os sistemas atuais de recuperação do palhiço são pouco atrativos economicamente em virtude do alto índice de impurezas.

As três condições de armazenamento estudadas foram: palhiço empilhado a céu aberto, palhiço armazenado em galpão de lona inflável e o palhiço armazenado em silos plásticos (silo bolsa). Para viabilizar o armazenamento, os dois sistemas de recuperação empregados foram: colheita integral (cana + palhiço, colhidos e transportados juntos, com separação em unidade de limpeza a seco na usina) e palhiço enfardado, utilizando uma enfardadora de fardos prismáticos. A Figura 2-13 apresenta as seis composições analisadas.

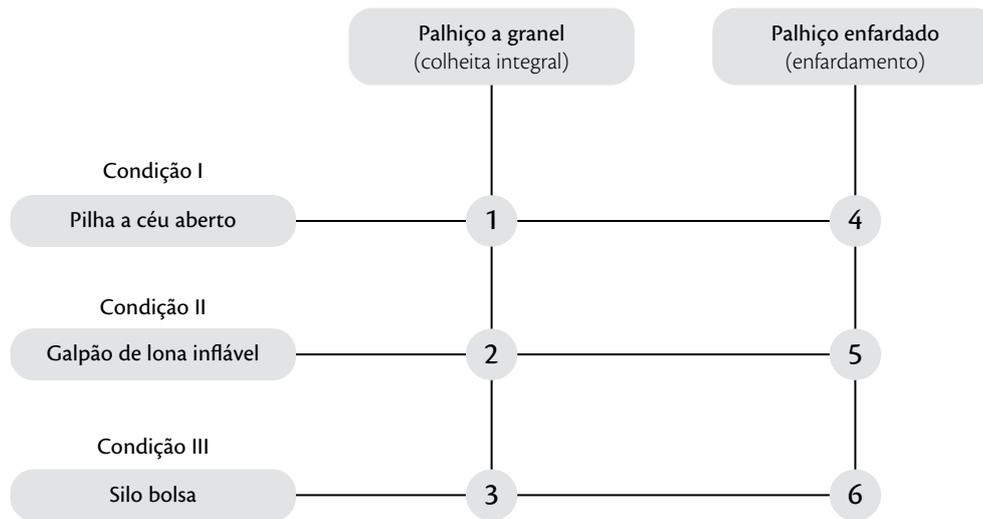


Figura 2-14: Sistemas de recuperação e armazenamento do palhiço

Para a determinação dos custos finais envolvidos no processo de armazenamento e movimentação do palhiço na indústria, foi elaborado um modelo de custos que comparou os três cenários de armazenamento propostos. A seguir, são apresentados os índices técnicos utilizados nas simulações:

- Câmbio: R\$ / US\$: 2,02
- Taxa de juros: 12 % ao ano
- Dias úteis na safra: 170
- Dias corridos na safra: 210
- Distância média para transporte do palhiço armazenado: 3 km

Para a determinação dos custos finais envolvidos no processo de utilização do palhiço, foram utilizados os custos referentes às operações de recolhimento e transporte do palhiço do campo até a usina, obtidos no Projeto BRA/96/G31; os custos referentes às operações de armazenamento e trans-



porte do palhiço do receptáculo de armazenagem até a usina, simulados neste estudo; e os custos dos receptáculos de armazenagem do palhiço, também simulados neste estudo.

A Tabela 2.3-4 apresenta o investimento inicial necessário para cada um dos cenários propostos, considerando apenas as operações de beneficiamento e armazenamento após a chegada do palhiço na usina.

Pode-se observar nos resultados das análises efetuadas que o armazenamento a céu aberto se apresenta como a alternativa mais conveniente se não forem desconsideradas as perdas de material por deterioração; o estudo poderia se tornar mais conclusivo se complementado com dados sobre perdas por deterioração nos diversos sistemas contemplados. O segundo fator, com forte correlação com os custos de armazenamento, diz respeito à massa específica do material.

Tabela 2.3-4: Investimentos para os cenários de armazenamento propostos

| Cenários | Equipamentos* (simulação) [milhares de R\$] | Receptáculos (simulação) [milhares de R\$] | Total [milhares de R\$] |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| Colheita integral; Pilha a céu aberto | 668,00 | 0,00 | 668,00 |
| Colheita integral; Galpão inflável | 668,00 | 7.150,00 | 7.818,00 |
| Colheita integral; Silo bolsa | 808,00 | 1.362,20 | 2.170,20 |
| Palhiço enfardado; Pilha a céu aberto | 440,00 | 0,00 | 440,00 |
| Palhiço enfardado; Galpão inflável | 440,00 | 7.150,00 | 7.590,00 |
| Palhiço enfardado; Silo bolsa | 1.066,00 | 1.362,20 | 2.428,20 |

(*) Não foram considerados os equipamentos para limpeza a seco e trituração.

2.3.2. Colheita com controle de tráfego *versus* mecanização convencional na sustentabilidade da agricultura canavieira

No ciclo de produção da cana-de-açúcar, podem-se identificar as fases de plantio, tratos culturais e colheita nas quais são transportados fertilizantes, defensivos químicos, mudas, palhicho e colmos para moagem, em ordem crescente de intensidade de tráfego pela quantidade de massa movimentada. O tráfego de tratores, colhedoras, implementos e veículos de transporte utilizados nas referidas fases contribuem para o adensamento do solo, tornando necessárias operações pesadas como subsolagem, aração ou gradagem para sua desagregação.

Os processos agronômicos de produção de cana-de-açúcar continuam os mesmos utilizados durante vários séculos, mesmo em regiões com maior desenvolvimento tecnológico, como o estado de São Paulo. Experiências bem sucedidas em escala comercial mostram que outros processos agronômicos como, o Cultivo Mínimo e o Plantio Direto, podem substituir, com vantagens, o sistema de preparo convencional que atualmente domina a agricultura canavieira. Existem três opções para o preparo do solo, na fase de plantio: Sistema Convencional, Sistema de Cultivo Mínimo e Sistema de Plantio Direto. Estes sistemas estão descritos em ordem decrescente de utilização comercial.

2.3.2.1. Sistema Convencional de preparo de solo

O Sistema Convencional de preparo do solo envolve operações de subsolagem e aração, combinadas por gradagens para a eliminação das soqueiras e incorporação de corretivos de solo. O tráfego intenso de colhedoras e veículos de transporte são normalmente os agentes compactadores que justificam o uso da subsolagem e das gradagens. Desse modo, um ciclo vicioso de compactação e descompactação se repete ao longo do tempo, sendo que ambas as operações, tanto de compactação quanto de descompactação, demandam equipamentos, combustíveis, mão de obra e investimentos para serem realizadas. Estima-se que a perda de solo para outras culturas, decorrente do preparo convencional, pode atingir 50 toneladas por hectare ao ano.

A cultura de cana-de-açúcar apresenta um índice de perda de solo relativamente pequeno, cerca de 12,4 toneladas de terra por hectare ao ano (UNICA, 2007).



2.3.2.2. Sistema de Cultivo Mínimo

Esta técnica destaca-se por substituir as operações convencionais de preparo do solo em área total por um preparo concentrado na linha de plantio, que consiste mais frequentemente em uma subsolagem, que pode ser complementada por uma desagregação mais intensa do solo por meio de enxada rotativa em uma faixa estreita vizinha à linha de subsolagem.

Em relação ao Cultivo Convencional, o Cultivo Mínimo apresenta redução na erosão, redução no uso de máquinas e implementos, reduzindo assim o uso de combustíveis. A perda de solo para outras culturas neste sistema pode atingir 20 toneladas por hectare ao ano, contra 50 toneladas por hectare ao ano no caso de plantio convencional.

2.3.3. Sistema de Plantio Direto

O Sistema de Plantio Direto é uma técnica de manejo do solo em que palhizo e restos vegetais (folhas, colmos, raízes) são deixados na superfície do solo. O solo é revolvido apenas no sulco onde são depositadas as mudas e fertilizantes e as plantas infestantes são controladas por herbicidas, evitando assim cultivos mecânicos que provocam a compactação. Não existe preparo do solo além da mobilização no sulco de plantio.

A redução da erosão, a melhoria das condições físicas e de fertilidade do solo, o aumento do teor de matéria orgânica, de nutrientes e de água armazenada, bem como a redução no consumo de combustíveis com a manutenção da produtividade da cultura, indicam o Plantio Direto como o sistema para alcançar maior sustentabilidade da agricultura, com mínimos impactos ambientais e sem degradação dos recursos naturais.

No Brasil, o sistema de Plantio Direto começou a ser implantado no início dos anos 1970, no norte do Paraná, com o objetivo de amenizar os prejuízos causados pela erosão do solo com a sucessão das culturas de trigo/soja.

Na década de 1990, o sistema começou a ser utilizado de maneira expressiva no Rio Grande do Sul e em parte do Cerrado (GO, MG e DF). Atualmente, o Brasil tem uma área cultivada com Plantio Direto que ultrapassa os 25 milhões de hectares, sendo o Paraná e o Rio Grande do Sul os estados que mais utilizam esta técnica de plantio, principalmente nas lavouras de soja, milho, feijão, trigo e arroz. A soja é a cultura com maior incidência deste sistema de plantio.

Com a cobertura vegetal, verifica-se diminuição do volume de resíduos químicos existentes nas enxurradas, em comparação ao solo sem cobertura vegetal, o que acarreta a redução da poluição dos cursos de água. Outra consequência é o aumento da atividade biológica, resultante do aumento de matéria orgânica no solo, o que possibilita menor uso de fertilizantes.

A cultura de cana-de-açúcar gera um excedente de biomassa vegetal com grande potencial para ser empregado como cobertura do solo. Atualmente, os procedimentos de corte e colheita, como a limpeza prévia pelo fogo, limitam a disponibilidade e aproveitamento desta biomassa. Assim que for generalizada a colheita mecanizada e abolida a prática de queima do palhicho (prevista por leis estadual – SP – e federal), haverá uma grande disponibilidade deste material para cobertura do solo. Hoje as estimativas são de que o resíduo da colheita de cana-de-açúcar pode atingir 140 kg por tonelada de cana entregue na usina (base seca).

Esta quantidade de biomassa vegetal está acima da necessária a para cobertura do solo. A quantidade mínima de cobertura morta para um desempenho eficiente do plantio direto não está, ainda, bem determinada. A seguir, são detalhadas algumas vantagens do sistema de Plantio Direto.

2.3.3.1. Redução da perda de solo

Apesar da cultura de cana-de-açúcar apresentar um índice reduzido de perda de solo, a degradação dos solos afeta grandemente as terras agrícolas e pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias. Dentre os tipos de degradação, a erosão é uma das formas mais prejudiciais, uma vez que reduz a capacidade produtiva das culturas, além de causar sérios danos ambientais, tais como assoreamento e poluição das fontes de água.

O Plantio Direto é um sistema de manejo muito eficiente no controle da erosão. O palhicho sobre a superfície protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a desagregação e o selamento da superfície, garantindo maior infiltração de água e menor arraste de solo. O Plantio Direto reduz em até 90% as perdas de solo e em até 70% a enxurrada.

Mesmo em culturas com menor quantidade de resíduos de cobertura que a cana-de-açúcar, estima-se que as perdas de solo com a erosão podem ser reduzidas em aproximadamente 76%.



2.3.3.2. Redução da perda de água

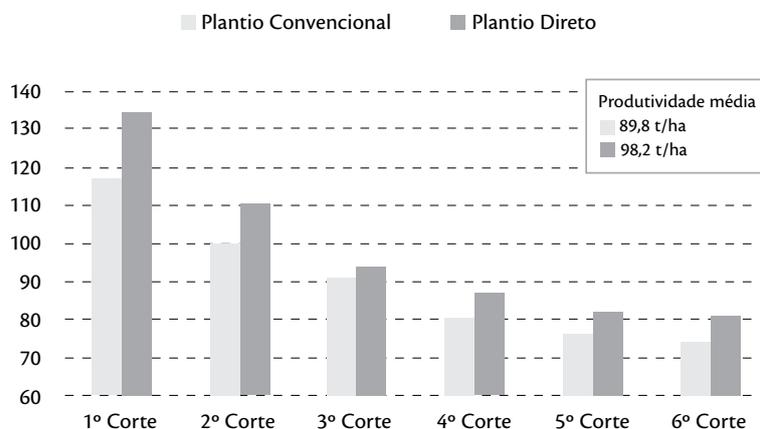
A água ocupa um lugar de destaque no manejo da cana-de-açúcar, pois, quando limitante, reduz significativamente a produtividade, mesmo em solos mais férteis e, quando adequada, consegue boa produção, mesmo nos solos com menor potencial.

Em relação à cobertura vegetal, verifica-se que o palhicho cobrindo o solo aumenta a retenção de água, já que diminui a evaporação e reduz, ou até mesmo elimina, o escoamento superficial. Estudos indicam uma redução na perda de água de aproximadamente 70% com o uso do Plantio Direto.

2.3.3.3. Melhoria da fertilidade do solo

Um dos efeitos mais significativos do aumento dos teores de matéria orgânica no solo, proporcionado pelo Plantio Direto, é o aumento na chamada Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Em linhas gerais, CTC é a capacidade que um solo apresenta de armazenar nutrientes para que estes sejam posteriormente utilizados pelas plantas. A maior parte dos solos brasileiros é constituída por solos pouco férteis e pobres em matéria orgânica. O aumento da matéria orgânica propicia um aumento da atividade biológica e também um aumento da disponibilidade de nutrientes, como o fósforo e o cálcio. Todos esses fatores contribuem para o aumento da produtividade da cultura e possibilitam a redução da aplicação de fertilizantes, especialmente os fosfatados.

Na cultura da cana-de-açúcar, ainda é pequena a utilização do Sistema de Plantio Direto, contudo resultados preliminares mostram tendências similares a outras culturas. A Figura 2-14 mostra resultados de estudos iniciados no ano 2000, em uma propriedade do município de Pitangueiras, SP, utilizando plantio direto da cana-de-açúcar em sucessão com soja, nos quais foram verificados aumentos de produtividade da ordem de 9%, e constatada uma redução de 24% no custo de produção da soja e de aproximadamente 10% no caso da cana-de-açúcar.

Gráfico 2-15: Produtividade da cana de 18 meses em Plantio Direto e Convencional


Fonte: Revista Canaveiros, março 2007 –Marcelo Felício, Eng. Agr. CANAOESTE

O Plantio Direto encontra fundamentações em outras culturas para mostrar que sua introdução na cultura canieira deve acontecer, mesmo que existam na atualidade entraves tecnológicos que pareçam indicar o contrário.

Os incentivos clássicos ligados à redução de custo de produção, redução das perdas de solo e água, assim como potencial de aumento de produtividade, existem tanto no caso da cana-de-açúcar quanto em outras culturas, em que os resultados econômicos já mostraram essas vantagens em escala comercial.

Entretanto, a implantação deste sistema de plantio está em confronto com o conjunto de técnicas agrícolas praticadas atualmente, baseadas em tratores de bitola estreita e grande pisoteio nas operações de colheita e transporte interno da produção. O conjunto de técnicas agrícolas, baseado em um sistema de controle de tráfego, viabilizará o sistema de Plantio Direto com as vantagens a ele inerentes, juntamente com vantagens próprias em termos de redução de investimentos e custos operacionais.

As barreiras tecnológicas e os correspondentes recursos disponíveis para o aprimoramento da produção agrícola estão sintetizados na Tabela 2.3-5.

A proposta de tráfego controlado com Estruturas de Tráfego Controlado (ETC's) demonstra bom potencial de viabilidade técnica e econômica para permitir que o Plantio Direto se torne uma realidade em larga escala comercial, com possibilidade de viabilizar paralelamente a eliminação das queimadas e a disponibilidade do palhicho para aproveitamento energético.



Com a diminuição da compactação e aumento da umidade, pode-se antecipar um aumento no número de cortes da lavoura de cana-de-açúcar, com a utilização da Estrutura de Tráfego Controlado.

Tabela 2.3-5: Barreiras e recursos tecnológicos para o aprimoramento da produção da cana-de-açúcar

| Barreira | Recurso tecnológico |
|------------------------------|--------------------------|
| Variedades de cana-de-açúcar | Melhoramento transgênico |
| Água no solo | PD |
| Adubação | AP + BDA + TI + PD |
| Condição física do solo | PD + ETC |
| Manejo de pragas | AP + BDA + TI |

PD: Plantio direto;

AP: Agricultura de precisão;

BDA: Banco de dados agrônomo;

TI: Tecnologia da informação;

ETC: Estrutura de tráfego controlado.

2.3.4. Mecanização alternativa

2.3.4.1. Relação entre queimadas, Plantio Direto e controle de tráfego

A mecanização agrícola usada atualmente na produção da cana-de-açúcar define certas práticas agrônômicas, principalmente em função da bitola dos tratores e das colhedoras, que acabam influenciando o espaçamento de plantio. Com isso, ficam também estabelecidas as principais dimensões de equipamentos de preparo do solo, plantio e cultivo. Esse modelo comercial se caracteriza por uma alta rigidez tecnológica que restringe mudanças estruturais necessárias para abordar três fatores que formam um triângulo tecnológico interligado e que são inadiáveis no cenário atual da agricultura canavieira: a interrupção das queimadas, a prática do Plantio Direto no palhiço e a redução do tráfego intenso de equipamentos praticado atualmente nos canaviais.

O plantio da cana pode ser feito, e já é feito por algumas usinas, diretamente sobre o palhiço da própria cana ou sobre o palhiço de soja ou amendoim remanescente do ciclo de rotação de culturas.

As condições para a implantação do Plantio Direto da cana estão, portanto, muito favoráveis, a não ser pelas restrições impostas pelo sistema de mecanização utilizado atualmente.

Embora a condição de pisoteio intenso praticado atualmente na colheita mecânica não possa ser eliminada em curto prazo, é necessário ponderar sistemas alternativos, envolvendo, por exemplo, técnicas de controle de tráfego, cujo desenvolvimento e implantação não dependem de resultados da pesquisa de fronteira e que estão ao alcance dos recursos da engenharia e da capacidade de investimento do setor canavieiro.

Pode-se antecipar um primeiro passo de evolução tecnológica para o cenário de 2015, que contempla o desenvolvimento das colhedoras-2L com corte simultâneo de duas linhas, de forma a reduzir o pisoteio a 50% do valor atual e diminuir a restrição topográfica de mecanização de 12% para 22%, aproximadamente.

Um segundo passo de evolução de tecnológica seria dado para o cenário de 2025, que contempla a introdução das Estruturas de Tráfego Controlado (ETC's) com bitola extralarga, de 20m a 30m, com restrição topográfica da ordem de 40% e que viabiliza a introdução da técnica de plantio direto.

2.3.4.2. Pilares da mecanização canavieira

Os dois pilares principais da mecanização da cana-de-açúcar são o trator agrícola e a colhedora de cana picada. Esses equipamentos definem ou influenciam fortemente o desenho geométrico das glebas, padrão de tráfego no campo, assim como o tamanho e a concepção da maioria dos outros equipamentos utilizados no processo produtivo.

O sucesso da eliminação das queimadas e da implantação do plantio no palhiço depende de uma alternativa de mecanização que reduza significativamente os níveis de tráfego praticados atualmente. O controle de tráfego por meio de ETC's é apresentado como um caminho promissor para viabilizar simultaneamente os três vértices do triângulo tecnológico proposto.

O efeito nocivo do tráfego sobre a estrutura do solo é muito evidente quando o solo se encontra bem estruturado, em condições favoráveis para o desenvolvimento da planta e com boa resistência à erosão hídrica. Na medida em que o solo encontra-se mais compactado e seco, o efeito dos pneus se torna menos perceptível. Mesmo que esses efeitos sejam pouco significativos nos meses secos do inverno, quando acontece a colheita, eles são fortemente nocivos nos meses de início e fim de safra em que as precipitações são mais intensas.



2.3.4.3. Tráfego controlado

O controle de tráfego mantém trilhas compactadas permanentemente, evitando assim o custo associado ao círculo vicioso de compactação e descompactação praticado no sistema de Plantio Convencional. Na mecanização convencional, o tráfego, mesmo que controlado, atinge faixas com 0,8m de largura, espaçadas de 1,5m, ou seja, aproximadamente 50% da área é atingida pelos pneus ou esteiras dos equipamentos de colheita ou transporte. As bitolas estreitas dos tratores e colhedoras promovem a condição de tráfego ilustrada na Figura 2-15, onde cada pequeno retângulo representa a passagem de duas rodas, o que indica que existem entrelinhas de plantio pelas quais trafegam 32 pneus durante o ciclo de produção da cana planta. Deve-se destacar que, para viabilizar o Sistema de Plantio Direto na cana-de-açúcar, torna-se necessário um sistema de mecanização que reduza drasticamente o tráfego com relação ao Sistema de Mecanização Convencional atualmente em uso.

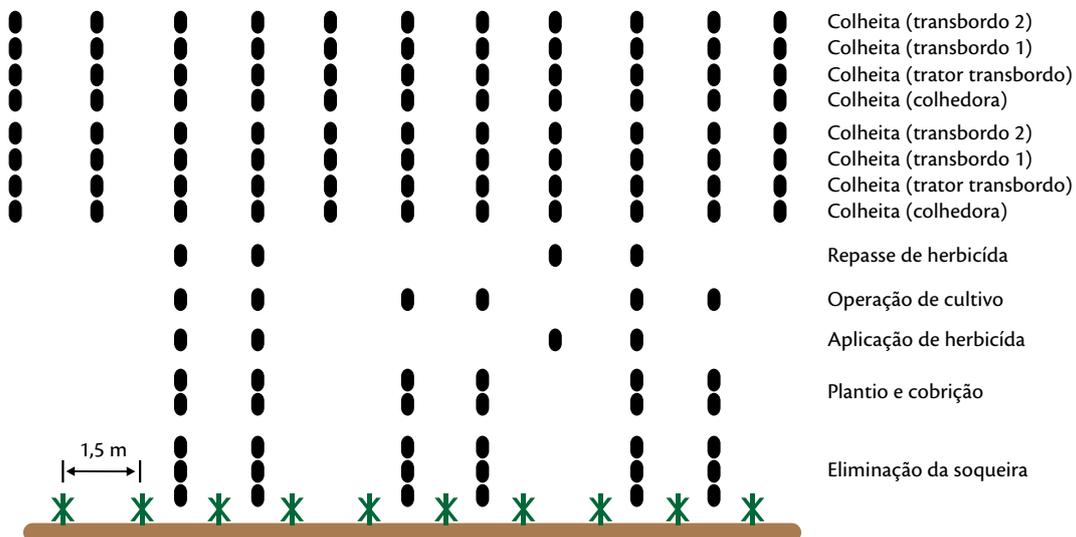


Figura 2-16: Número de passadas de pneus nas entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar na mecanização convencional com controle de tráfego

2.3.4.4. Estruturas para tráfego controlado

Os resultados das pesquisas, combinados com as observações em escala comercial de várias culturas agrícolas, juntamente com a experiência em escala comercial, e específica em cana-de-açúcar, da usi-

na São Martinho, permitem antecipar com bastante segurança que o Plantio Direto, se combinado com o tráfego controlado com bitolas maiores, da ordem de 10m ou 15m, deve resultar em redução de custos, ganhos de produtividade e redução nas perdas de solo com seus correspondentes efeitos positivos nos recursos hídricos. A Figura 2-16 ilustra uma estrutura de bitola larga, denominada de Estrutura para Tráfego Controlado (ETC) em que o tráfego se concentra em linhas específicas para essa função, fortemente compactadas, sendo que o resto da área não recebe tráfego e fica dedicada exclusivamente à planta, sem compactação. Nessa ilustração, o tráfego atinge uma de cada 10 entrelinhas de plantio e ainda em 50% de sua largura, o que representa 5% da área total, ou seja, 1/10 da área trafegada no cultivo convencional, mesmo que com controle de tráfego. O número de passadas indicado na figura corresponde ao sistema de Plantio Direto, fator que também contribui para reduzir bastante o tráfego.



Figura 2-17: Número de passadas de pneus nas entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar no esquema de mecanização com estruturas de tráfego controlado (ETC)

Para a realização das operações agrícolas com ETC's, os implementos são acoplados à estrutura que se desloca ao longo do talhão sobre as faixas de rodagem, com 80cm de largura, permanentemente compactadas e situadas paralelamente às áreas cultivadas. As operações consideradas para o caso da ETC, visando a um esquema de Plantio Direto em cana-de-açúcar, são: eliminação de soqueiras, sulcação, plantio, pulverização, cultivo e adubação, assim como colheita e transporte interno às áreas de cultivo. Ficam eliminadas no sistema de Plantio Direto as operações de aração e gradagem, sendo que a operação de subsolagem pode ser utilizada esporadicamente até a consolidação do Plantio Direto ou incorporada ao equipamento de sulcação para ser realizada simultaneamente com o plantio.



Para se plantar ou colher a área cultivada, a ETC efetua várias passadas tráfegando as mesmas faixas de rodagem. Os implementos acoplados à ETC são, a cada passada, deslocados transversalmente sobre a estrutura, de acordo com sua largura de trabalho, para processar uma nova faixa. Esse deslocamento corresponde a duas linhas no caso da colheita e a 4 linhas no caso do plantio. Ao completar a operação sobre a área com largura de 15m, localizada entre duas faixas de rodagem consecutivas, a ETC se posiciona sobre o carreador, gira em 90 graus suas 4 rodas e se desloca no sentido longitudinal da estrutura até se posicionar frente a área adjacente a ser processada. A largura e o comprimento da ETC, em configuração de transporte, correspondem aos limites dimensionais fixados pelo Conselho Nacional de Trânsito (Contran). Na operação de colheita, a cana é coletada de duas linhas de plantio em cada passada da estrutura. O material colhido é transportado por meio de uma esteira até a extremidade da ETC, onde é armazenada em um contêiner. Ao completar um contêiner, o fluxo é desviado para o segundo, localizado no extremo oposto da ETC, e o primeiro é basculado para uma carreta de transbordo, quando a ETC atinge o próximo carreador. A operação posterior de transferência de carga para os caminhões de estrada permanece nos padrões atuais de cana picada.

Foram realizadas simulações comparativas de investimentos e custos para a colheita e retirada da cana dos talhões, utilizando colhedoras convencionais e ETC no caso da destilaria padrão com capacidade de 2.000.000 t/safra e 170 dias úteis de safra. Em ambos os casos, foram considerados o sistema de cana picada operando com carretas de transbordo puxadas por tratores. Foi adotada, para o estudo, uma ETC com estrutura tipo treliça e 15m de largura. Nessas condições são necessárias 14 colhedoras de cana picada e 28 conjuntos trator-transbordo para o sistema convencional ou 9 ETC's com 18 conjuntos trator-transbordo para o sistema de tráfego controlado. Analisando-se os custos de mecanização na Tabela 2.3-6, verifica-se que, com a utilização do binômio Plantio Direto - ETC, é possível obter redução de custo de produção agrícola da ordem de 15%, considerando o custo de produção da cana em 40 R\$/tc.

Cabe destacar também que as reduções de custo são particularmente importantes pelo atrativo que representam para o produtor na fase inicial de implantação da nova tecnologia, sendo que, no longo prazo, novos e maiores benefícios devem surgir, em função da melhor estruturação do solo, da conservação da umidade e do solo, sem deixar de considerar as vantagens resultantes da eliminação das queimadas e o aproveitamento energético do palhico.

Tabela 2.3-6: Custos estimados da mecanização convencional e com ETC's

| Operação | Convencional (5 cortes) | ETC (5 cortes) | ETC (10 cortes) |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|
| | Cana Planta | | |
| 1- Subsolagem | 88,3 | 0,0 | 0,0 |
| 2 – Aração | 79,6 | 0,0 | 0,0 |
| 3 – Gradagem | 34,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 – Plantio | 243,7 | 214,8 | 214,8 |
| 5 – Colheita | 451,0 | 270,1 | 270,1 |
| 6 - Transbordo ou empilhadora | 282,6 | 39,8 | 39,8 |
| | 100% | 44% | 44% |
| Cana Soca | | | |
| 7 – Colheita | 1807,6 | 1.080,5 | 2.431,2 |
| 8 - Transbordo ou empilhadora | 1.130,3 | 159,3 | 358,4 |
| | 100% | 72% | 65% |
| 9 – Total [R\$/ ha] | 4117,1 | 1764,5 | 3314,3 |
| 10 -Total [R\$/ tc] | 21,2 | 15,3 | 13,8 |

O tráfego controlado utilizando estruturas largas ou ETC's se apresenta como uma opção para viabilizar o Plantio Direto da cana, no palhicho, com colheita sem queima prévia; portanto, pode ser considerado como parte indivisível do triângulo tecnológico que se completa com o Plantio Direto e a eliminação das queimadas.

2.3.4.5. Remoção de colmos da plantação

O processo de colheita da cana-de-açúcar envolve uma sequência de operações, entre as quais se encontra a alimentação da colhedora, que consiste na remoção dos colmos da plantação e sua introdução no equipamento, para que posteriormente sejam efetuadas as operações de picagem e despalhamento. Existem dificuldades para se retirar os colmos de um canal de alta produtividade, onde estes se encontram tombados de forma aleatória em várias direções. Soma-se a essa condição adversa o fato de os colmos serem frequentemente curvos como consequência do crescimento,



que continua na direção vertical, mesmo que o colmo esteja aproximadamente na direção horizontal após o tombamento.

Uma análise mais detalhada do processo de alimentação das colhedoras de cana picada permite uma melhor identificação de suas deficiências, como também viabiliza a colocação de proposições alternativas que atendam mais eficientemente os requisitos de corte rente ao solo e ordenamento paralelo dos colmos para o transporte ou a picagem.

A tecnologia de colheita de cana picada empregada atualmente utiliza um processo de alimentação complexo, composto de cinco etapas que envolvem mecanismos motorizados em cada uma delas. A representação esquemática da colhedora de cana picada da Figura 2-17 permite identificar as cinco etapas do processo de alimentação (BRAUNBECK E CORTEZ, 1999):

- 1 Levantamento e alinhamento: um par de separadores-levantadores helicoidais elevam e empurram os colmos ainda presos à raiz;
- 2 Tombamento: um defletor ou batedor rotativo efetua o tombamento dos colmos no sentido do avanço para viabilizar sua entrada na máquina;
- 3 Corte de base e alimentação: um par de discos com facas periféricas que giram em sentidos opostos efetua o corte de base e auxilia na alimentação;
- 4 Levantamento: um rolo aletado levanta o extremo inferior dos colmos e os conduz até o primeiro par de rolos puxadores;
- 5 Puxamento: uma cascata de rolos limpadores puxa e completa o ordenamento paralelo dos colmos, transportando-os até o picador.

O processo de remoção de colmos da plantação, e sua introdução na colhedora, apresenta, atualmente, duas limitações importantes: perdas de matéria-prima significativas e elevada demanda de potência, peso e custo de equipamentos. Torna-se evidente, então, a necessidade do desenvolvimento de princípios de remoção mais simples e eficientes compatíveis com a operação.

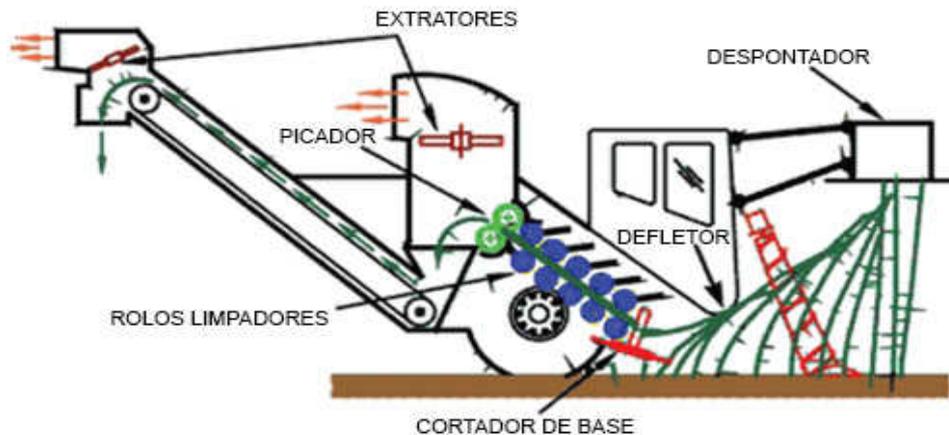


Figura 2-18: Etapas do processo de alimentação da colhedora de cana picada

2.3.5. Colheita em terrenos inclinados com recursos de tração e direção utilizados em veículos fora de estrada

A mecanização total ou parcial se apresenta, atualmente, como a única opção para a colheita da cana, tanto do ponto de vista ergonômico quanto econômico e, principalmente, do ponto de vista legal e ambiental, já que apenas o corte mecânico viabiliza a colheita sem queima prévia, o que por sua vez viabiliza o aproveitamento do palhicho. A evolução lenta da colheita mecânica no estado de São Paulo e no Brasil permite concluir, mesmo sem abordar detalhes técnicos, que as soluções tecnológicas disponíveis não são suficientemente competitivas para atrair os usuários, ou seja, existem limitadores, como o elevado investimento e a restrição para operar em terreno inclinado, que retardam sua implantação. A movimentação de equipamentos autopropelidos em terrenos inclinados pode apresentar dificuldades associadas com o tipo de solo, a inclinação do terreno, o tipo de rodeiros utilizados e a largura do equipamento.

A aplicação do tráfego controlado na cana-de-açúcar, com os recursos atuais de mecanização e espaçamentos de plantio praticados, demanda a existência de faixas adjacentes e alternadas com largura de 700mm para a planta e 800mm para o tráfego. Dado o número e o porte dos veículos que participam das operações de colheita e transporte, pode-se observar que é necessário um recurso de controle direcional bastante eficiente para que as referidas faixas sejam mantidas dentro de suas



funções específicas de tráfego e produção e dessa forma sejam preservadas as condições tão antagônicas exigidas delas. Os veículos de esteira ou de pneus, com recursos de direção em apenas um eixo, não permitem efetuar um controle direcional eficiente e compatível com a prática do controle de tráfego. Os veículos com direção nas quatro rodas podem operar nos modos de “giro” e “paralelo”, como ilustrado na Figura 2-18. O modo de giro permite efetuar trajetórias curvas com raios muito reduzidos. No modo paralelo o veículo pode se deslocar transversalmente, paralelamente a si mesmo, para compensar deslizamentos laterais em terrenos inclinados, sem mudar a orientação de tangência com as linhas de plantio

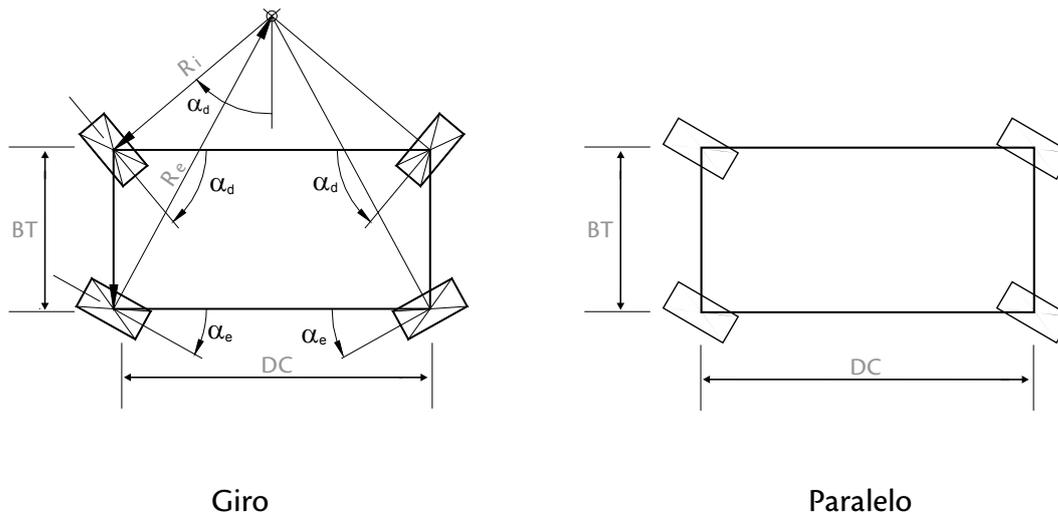


Figura 2-19: Modos de operação direcional do veículo com direção nas quatro rodas

O comportamento direcional descrito é exclusivo dos veículos de pneus com direção nas quatro rodas. A disponibilidade atual de transmissões hidrostáticas e redutores planetários de roda viabilizam a fabricação da referida configuração de mecanismo direcional, sempre utilizando componentes facilmente fornecidos no mercado nacional ou importados.

A análise apresentada sobre movimentação de veículos autopropelidos de colheita, e outros, em terrenos inclinados, permite extrair algumas conclusões finais:

- 1 Grande parte dos equipamentos utilizados atualmente no setor canavieiro, tais como tratores, carregadoras, caminhões e colhedoras de pneus, apresentam mecanismos de direção apenas no eixo dianteiro, ou seja, não existe recurso de controle de direção no eixo traseiro que permita ao operador acompanhar eficientemente as linhas de cana tanto na colheita quanto no carregamento, ou nos tratos culturais, quando o terreno apresenta declividade superior a 12%;
- 2 A grande deformação dos pneus agrícolas é uma característica desejável imposta ao projeto para se conseguir maior área de contato com o solo e dessa forma reduzir a pressão sobre eles. A baixa rigidez da estrutura do pneu, desejável do ponto de vista da compactação do solo, prejudica a estabilidade direcional de veículos que utilizam eixos sem mecanismo de direção. A separação das faixas de cultivo e tráfego, juntamente com a utilização de recursos de direção em todos os eixos do veículo, permitem elevar a restrição de declividade máxima do atual nível de 12% para valores superiores a 30% ou até o limite físico imposto pelo atrito pneu-solo, que é superior a esses valores;
- 3 A largura de corte das atuais colhedoras de cana picada deveria ser aumentada de uma para duas linhas com dois objetivos muito claros: aumentar a estabilidade ao tombamento e reduzir em 50% o tráfego sobre o canavial, atenuando suas consequências negativas econômicas e ambientais.

2.3.6. Melhoramento Genético – Biotecnologia

As técnicas convencionais de melhoramento tendem a produzir aumentos lentos de produtividade, mesmo que programas intensivos sejam implantados nas áreas de expansão. Nesse caso, a tendência de crescimento histórica pode ser esperada num horizonte de 20 anos e as áreas de expansão serão as previstas no estudo (Capítulo 4), com reduções da ordem de 20%.

A biotecnologia amplia consideravelmente a variabilidade disponível, pois permite a utilização da variabilidade existente em todos os seres vivos. Assim, quando uma característica desejável não é encontrada no genoma da espécie de interesse, mas o gene responsável por essa característica é identificado em outra espécie, tal gene pode ser transferido para a espécie a ser melhorada.



Tabela 2.3-7: Uma previsão de melhoristas da cana-de-açúcar com relação à produtividade e qualidade para os cenários de 2015 e 2025

| Região | T/ha | | Pol%cana/ha | | ATR/ha | |
|------------|------|------|-------------|------|--------|------|
| | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 |
| N-NE | 68 | 72 | 12 | 13 | 118 | 120 |
| Centro Sul | 83 | 86 | 15 | 16 | 139 | 142 |
| Brasil | 82 | 84 | 14 | 15 | 136 | 140 |

Fonte: CanaVialis(2006)

Essa previsão parece otimista, considerando que deve ocorrer uma forte expansão de áreas, na maioria das vezes para condições de solo e clima menos conhecidos ou com maiores restrições e, em alguns casos, administradas por empresas menos experientes ou com tecnologias inadequadas. No entanto, as novas tecnologias de agricultura de precisão, controle de tráfego, Plantio Direto e tecnologia da informação serão responsáveis por contribuições positivas não contempladas nas previsões de aumento de produtividade/qualidade feitas pelos melhoristas.

O prognóstico, segundo o Centro Cana IAC/APTA, é que com canas transgênicas, associadas ao manejo varietal, haverá um aumento de 30%, até 2025, no valor de tonelada de pol por hectare (TPH), que associa a produtividade agrícola (tonelada de cana por hectare) com a qualidade da cana (percentual de pol da cana).

Outra vertente seria um desenvolvimento focado em variedades de cana concebidas para fins energéticos, denominada como cana energia, cujo conceito está relacionado a variedades de cana otimizadas para a máxima produção de energia. O critério de otimização é, por si só, uma pergunta que não tem resposta trivial, pois o desenvolvimento de variedades da cana energia poderia priorizar, entre outras funções, a maximização da disponibilidade de energia primária da cana por hectare, a maximização da energia secundária, a maximização da redução das emissões de gases de efeito estufa ou a maximização do lucro.

2.3.7. Tecnologia da Informação

Ao analisar o sistema de produção usado atualmente na cultura da cana-de-açúcar, nota-se que existe um grande volume de informações associadas à planta, ao solo, ao clima e ao meio físico de produção. Esses fatores influenciam a produtividade, os custos operacionais, os investimentos e os impactos ambientais. Os efeitos e as interações entre essas variáveis são complexos e demandam o auxílio da tecnologia da informação para viabilizar o armazenamento, a análise e o diagnóstico na gestão agrícola.

Os resultados, bem sucedidos, obtidos por um número limitado de equipes experientes que conduzem atualmente com eficiência lavouras de cana-de-açúcar, podem ser multiplicados e potencializados com o auxílio da tecnologia da informação associada à agricultura de precisão. A captação, armazenamento e análise de grande volume de informação tornam-se possíveis, atualmente, mesmo no ambiente agrícola, viabilizando o diagnóstico de efeitos e interações entre fatores de produção. Os recursos da agricultura de precisão se adaptam muito bem ao quadro de manejo do canavial acima descrito e não apenas à racionalização da utilização de insumos como freqüentemente considerado. A precisão atingida pelo sistema de posicionamento global permite referenciar geograficamente com detalhe o terreno.

Mesmo com o desenvolvimento e disponibilidade comercial do Sistema de Posicionamento Global (GPS), os sensores necessários para a quantificação dos fatores de produção, tais como produtividade, adubação aplicada, infestação de plantas invasoras e propriedades do solo estão ainda em graus primários de desenvolvimento. Os mapas de produtividade empregados no canavial demandam o uso de uma balança para pesagem dinâmica da massa de cana colhida pelas colhedoras; esta balança, em desenvolvimento pela AGRICEF-FEAGRI-ENALTA, encontra-se em estágio de comercialização e ainda em fase de aprimoramento no que diz respeito aos níveis de erro do sinal gerado.

Os equipamentos de aplicação com taxa variável podem ser semeadoras, adubadoras, pulverizadores de pesticidas e espalhadores de corretivos (calcaredoras). Estes equipamentos, combinados com recursos de agricultura de precisão, requerem ainda aprimoramento, mesmo que já existam algumas opções disponíveis comercialmente. As propriedades e a composição granular heterogênea dos adubos sólidos não permitem uma precisão de aplicação satisfatória quando se faz necessária uma resposta instantânea nos aplicadores de taxa variável existentes comercialmente.

Para a geração de mapas de propriedades de solo, existem protótipos de veículos experimentais georeferenciados para extração de amostras de solo não deformadas. Estas unidades não atingiram, ainda, o estágio comercial por falta de demanda, e, conseqüentemente, não possuem ainda o grau de confiabilidade e automação desejado. O ciclo virtuoso de desenvolvimento-oferta-demanda-aprimoramento ainda não está em ação, nesse caso.



Atualmente, existem projetos baseados na tecnologia da informação na área agrônômica, denominados controle técnico agrônômico (CTA) e projetos para análise e diagnóstico da manutenção da frota, assim como sistemas para o gerenciamento logístico da frota de transporte, visando reduzir seu tamanho e seus custos, sempre mantendo a garantia de fornecimento de matéria-prima na esteira da indústria. Contudo, esses produtos necessitam de um aprimoramento juntamente com a disponibilidade de soluções para o gerenciamento de outros processos como adubação, controle de pragas ou planejamento do corte, visando adequar as características da matéria-prima a ser entregue na balança, em termos de sacarose e fibra, levando em consideração as curvas de maturação da cana e a demanda de etanol, energia elétrica e açúcar. A seguir são apresentados alguns exemplos das aplicações de um banco de dados corporativo agrícola.

2.3.7.1. Monitoramento e gerenciamento da frota de caminhões e máquinas agrícolas em tempo real

Uma das soluções para otimizar os gastos relacionados ao corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar está no monitoramento e gerenciamento da frota de caminhões e colhedoras em tempo real para reduzir os tempos de fila ou espera, mantendo a garantia de fornecimento de matéria-prima. Frotas superdimensionadas provocam filas e correspondentes aumentos de custos; frotas enxutas necessitam de um gerenciamento eficiente para evitar falta de matéria-prima na esteira da usina. O monitoramento da frota utilizando uma combinação de mecânica, eletrônica e sistemas de informação tem demonstrado seu potencial, principalmente nos últimos anos, devido à redução dos custos dos equipamentos eletrônicos, a liberação do sinal de posicionamento global (GPS), a comunicação entre máquinas com rádio frequência e a possibilidade de transmissão de dados em tempo real via banda de celular (GPRS) e Wi-Max a um custo reduzido.

Além dessas tecnologias, houve avanços nas ferramentas de geoprocessamento com novos Sistemas de Informação Geográfica mais precisos e específicos para cada atividade (urbanismo, meio-ambiente, agricultura e transporte), sendo estes passíveis de integração às bases de dados corporativos, facilitando consultas espaços/temporais com inclusão de modelos matemáticos para geração de informações relacionais complexas.

A disponibilidade do controle e da informação pode estar limitada a uma comunicação interna na máquina, para melhorar o seu desempenho, ou reduzir a demanda de trabalho do operador; ou ainda, incluir a comunicação entre máquinas e a conexão com a central de processamento, permitindo o gerenciamento mais eficiente de todo o sistema.

2.3.7.2. Manejo de adubação

Com a contínua introdução de novas variedades de cana-de-açúcar e com a disponibilidade de bancos de dados mais completos, que permitem um melhor entendimento do ambiente de produção, torna-se necessário pesquisar novas opções de nutrição associadas à fertilidade do solo. Esta fase de diagnóstico complementa-se com a possibilidade de aplicação de insumos com taxa variável, suprindo com maior precisão as necessidades da planta, de acordo com seu potencial e dependendo das necessidades do solo em cada ponto da área de produção.

O uso de insumos na quantidade adequada inclui fertilizantes e aplicação de vinhaça. Deve-se mencionar que o advento das tecnologias de segunda geração para produção de bioetanol pode incluir o uso da vinhaça no processo de biodigestão para produzir biogás, o que poderia diminuir sua disponibilidade na fertirrigação.

2.3.7.3. Manejo integrado de pragas

O Manejo Integrado de Pragas (MIP), que engloba o constante mapeamento das pragas existentes na lavoura (nematóide, cupim e cigarrinha-da-raiz) e a escolha adequada das estratégias de controle, somente a partir de determinado nível de infestação, poderá ser realizado a partir da maior compreensão da estrutura e do funcionamento do sistema de produção em relação ao comportamento das doenças e pragas no campo e a otimização de seu controle. No sistema atual de produção da cana-de-açúcar, o manejo das plantas invasoras vem sendo quase que exclusivamente realizado com controle químico. Os equipamentos utilizados para a aplicação dos agroquímicos apresentam uma baixa eficiência da quantidade de produto que atinge o alvo em relação à quantidade total aplicada. As tecnologias de agricultura de precisão, aliadas ao banco de dados corporativo, permitirão o emprego de pesticidas apenas nos pontos onde ocorre a doença ou a planta invasora, e não em toda a área, reduzindo sensivelmente o uso de pesticidas.



Referências Bibliográficas

- ANDRADE, RUI DA S. et al. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Abr 2002, vol.6, no.1, p.35-38.
- BERTOL, I. (UDESC), Predição da erosão no Brasil: necessidade de estudá-la e perspectiva de implantação de um modelo. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, agosto, 2007.
- BOLONHEZI, D.; SILVA, E. A.; MUTTON, M.A.; LA SCALA JR, N.; MARTINS, A.L.M.; JUSTO, C.L. Potencial de seqüestro de carbono do sistema de plantio direto na renovação de cana crua e pastagem. O Agrônômico, Campinas-SP 56(2), 2004.
- BOLONHEZI, DENIZART. Plantio direto de soja na renovação de cana crua: 10 anos de experiência. Revista Agrimotor, julho/2007.
- BRAUNBECK, OSCAR ANTONIO ; CORTEZ, LUIZ AUGUSTO BARBOSA ; ROSILLOCALLE, FRANCISCO; BAUEN, AUXÍLIO . Prospects for Green Cane Harvesting and Cane Residue Use in Brazil. Biomass and Bioenergy, Inglaterra, v. 17, n. 1, p. 495-506, 1999.
- Canavialis - <http://www.canavialis.com.br/>
- CARDOSO, FERNANDO PENTEADO; Estado da Arte do PD - Sao Paulo: MANAH, 2006.
<http://www.agrisus.org.br/artigos.asp?cod=7>
- Centro de Tecnologia Canavieira - CTC - 2008, <http://www.ctc.com.br/>
- DE MARIA, I.C. IAC, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais- Plantio direto, <http://www.iac.sp.gov.br/>
- DOMINGUES, A.F. 1º Workshop BRASIL – CHINA na área de recursos hídricos, ANA – Agência nacional de águas, Brasília, DF, 2006.
- ECAF (Federação Europeia de Agricultura de Conservação) <http://www.ecaf.org/portugues/portu.htm>
- FAO – Food and Agriculture and Organization. Acesso através de <http://www.faostat.fao.org>
- FEBRAPDP, Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, <http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD72a06.pdf>
- FELÍCIO, M., CANAOESTE, Plantio direto de soja sobre palha de cana-de-açúcar. Revista Canavieiros, março 2007.

HASSUANI, SULEIMAN JOSÉ; LEAL, MANOEL REGIS LIMA VERDE; MACEDO, ISAÍAS DE CARVALHO. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. – CD-Rom... Piracicaba: PNUD-CTC, 2005. 217 p. (Série Caminhos para Sustentabilidade).

<http://www.iac.sp.gov.br/tecnologias/plantiodireto/plantiodireto.htm>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - SIDRA.

Acesso através de [HTTP://WWW.IBGE.GOV.BR](http://WWW.IBGE.GOV.BR)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

Acesso através de <http://www.ibge.gov.br>

LAGUÉ, CLAUDE; AGNEW, JOY; KHELIFI, MOHAMED. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implements carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In: ANUAL MEETING OF THE CSAE/SCGR, 2003, Montréal, Canada. Proceedings... Montreal: CSAE/SCGR, 2003, Paper no.03-233.

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E. "Emissão de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso do bioetanol no Brasil: situação atual (2002)", SMA-Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo, 2004.

MICHELAZZO, MARCIO BERALDO. Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhicho da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 2005. 101 p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. 2005. Dissertação de Mestrado. Campinas.

MV BRAUNACK, JE MCPHEE AND DJ REID, Controlled traffic to increase productivity of irrigated row crops in the semi-arid tropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35(4) 503 – 513; 1995.

PACHECO, E. P.; MARINHO, J.T.S. Plantio direto: uma alternativa para produção de grãos no estado do Acre. Embrapa Acre, Comunicado técnico nº 131, p.1-5, nov/2001.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD PROJETO, BRA/94/016, (Área Temática: Agricultura Sustentável) texto para o workshop de janeiro 1999.

R. L. RAPER, D. W. REEVES, C. H. BURMESTER, E. B. SCHWAB, TILLAGE DEPTH, Tillage Timing, and Cover Crop Effects On Cotton Yield, Soil Strength, And Tillage Energy Requirements, *Applied Engineering in Agriculture*. VOL. 16(4): 379-385 , 2000 American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.

RAPER, RANDY L. & KIRBY, J.M. Soil compaction: How to do it, Undo it, or Avoid doing it. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 2006, Louisville, Kentucky. ASABE Distinguished Lecture Series... St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006, no. 30, p. 1-14.



- RIPOLI, M. L. C. ; RIPOLI, T. C. C. . Breve histórico da colheita mecanizada da cana-de-açúcar no Brasil. Álcoolbrás, São Paulo, v. 84, p. 114-117, 2004.
- SCARPELLINI, J.R.; BOLONHEZI, D. O aquecimento global e a agricultura em São Paulo. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/aquecimentoglobal/Index.htm> Acesso em: 08/2007.
- SILVA, DEMÉTRIO D. et al . Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 25, n. 2, 2005.
- SILVA, J. E. A. R. da. Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- TANIMOTO, O.S. Experiência com sistemas de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. CATI – ARAMINA,SP,2005.
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA),
Acesso através de <http://www.unica.com.br/>

The background features a dense field of corn plants. A semi-transparent green overlay covers the entire image. Overlaid on this is a network diagram consisting of several circular nodes connected by thin lines, suggesting a process flow or data network. A solid green vertical bar is positioned on the right side of the page.

Descrição do processo produtivo – Fase industrial



3. Descrição do processo produtivo – Fase industrial

Neste capítulo, apresentam-se a descrição do estado da arte atual - aqui chamada de 1ª geração - do processo produtivo de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil em relação à fase industrial, envolvendo suas melhorias, e também os aspectos relacionados às tecnologias de 2ª geração, particularmente, as tecnologias de hidrólise e gaseificação de biomassa. São abordados os aspectos referentes ao uso do bagaço da cana e do palhço, bem como a produção de excedentes de energia elétrica.

As unidades processadoras de cana são classificadas em usinas (unidades produtoras de açúcar), usinas com destilarias anexas (unidades que produzem açúcar e etanol) e destilarias autônomas (unidades produtoras de etanol). Em 2007, o Brasil contava com 370 unidades processadoras de cana-de-açúcar, sendo 294 instaladas na região Centro-Sul e outras 76 na região Norte-Nordeste. O estado de São Paulo produz em torno de 60% de toda a cana, bioetanol e açúcar do país.

Aspectos da fase industrial – 1ª geração

1. A tecnologia de produção de bioetanol e açúcar é muito semelhante, do ponto de vista de processos, em todas as usinas brasileiras; há variações nos tipos e qualidades dos equipamentos, controles operacionais e, principalmente, nos níveis gerenciais. Nas unidades mais bem gerenciadas, existe uma boa integração entre as áreas agrícola e industrial das usinas, o que permite otimizar toda a cadeia produtiva.
2. Em uma usina com destilaria anexa, a unidade industrial pode ser dividida em: recepção/preparo/moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de etanol, utilidades, disposição de efluentes e estocagem dos produtos.
3. Atualmente, a maior parte do bioetanol é produzido por um processo de fermentação em batelada alimentada com ciclo de fermento (em torno de 80% do total). O restante do bioetanol é produzido por fermentação contínua multiestágio com ciclo de fermento.
4. Os sistemas de produção de energia elétrica atualmente utilizados na indústria sucroalcooleira são sistemas com ciclos a vapor de água, com queima direta do bagaço de cana, e operando em regime de cogeração. No setor, existe hoje uma transição, evoluindo-se desde sistemas a vapor de média pressão (até 22 bar) para sistemas de alta pressão de vapor (até 65 bar e 82 bar). Isto tem permitido às indústrias do setor, além da autossuficiência em energia elétrica, a geração de excedentes para a venda.

5. Segundo o modelo adotado neste estudo para os cenários de expansão da produção, as unidades produtoras de etanol, denominadas destilaria padrão, são destilarias autônomas com rendimento global de 82,3% e com uma capacidade de moagem de 2 Mt de cana ao ano, operando em 167 dias efetivos de moagem por ano–safra; assumindo-se um coeficiente de conversão de 85 litros de bioetanol por tonelada de cana, essas unidades produzem 170 milhões de litros de bioetanol por safra.
6. O processo considerado mais apropriado para a nova geração de destilarias autônomas é baseado nas melhores condições tecnológicas praticadas atualmente, redirecionado para produção única de etanol, com alta eficiência de conversão de açúcares, baixo consumo energético, estabilidade de processo e compatibilidade com o meio ambiente. Empregando-se as tecnologias de primeira geração mais atuais, o conceito de destilaria modelo foi definido como sendo uma unidade com rendimento global de 85,5%, processando 2 Mt de cana ao ano, produzindo 176 milhões de litros de bioetanol e gerando 175,6 GWh de eletricidade excedente, utilizando somente o bagaço. Os investimentos necessários para esta unidade são estimados em R\$ 204,8 milhões.

Aspectos da fase industrial – 2ª geração

Aspectos da produção de bioetanol por hidrólise

1. O advento da cultura de cana para produção de bioetanol a partir de seus açúcares vem gerando grandes excedentes de bagaço, com potencial para serem transformados em bioetanol e aumentar significativamente a oferta deste combustível sem exigir um aumento proporcional das áreas de plantio. Nesta nova condição, o aproveitamento da cana será integral.
2. Para quantificar o potencial do bagaço para produção de bioetanol em função do avanço da tecnologia de hidrólise, estabeleceram-se cinco cenários que incorporam gradativamente aumentos da eficiência de conversão de hexoses e pentoses para hidrólise catalisada por ácidos diluídos e por enzimas, e a fermentação das pentoses a etanol. No estágio tecnológico atual, com pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses, pode-se produzir 69,1 litros de bioetanol por tonelada de bagaço *in natura*; no cenário mais otimista de desenvolvimento tecnológico, com pré-tratamento e hidrólise enzimática, aproveitamento das hexoses e pentoses, com a tecnologia otimizada, estima-se produzir 149,3 litros.
3. Foi estabelecido um modelo para integrar a hidrólise enzimática de bagaço junto à Destilaria Padrão, processando 2 Mt de cana por safra (167 dias ao ano) e usando os excedentes de bagaço como matéria-prima. O modelo considera a supressão do uso de queimadas



no canalial, adotando-se o corte e a colheita mecanizada da cana, com a recuperação parcial do palhicho e resíduos de colheita, assumindo-se que para a data de introdução da hidrólise estas tecnologias estarão disponíveis. A tabela abaixo resume os principais parâmetros de desempenho previstos para os cenários de 2015 e 2025.

| Ano | Prod. total de bioetanol (10 ⁶ l) | Participação da produção de bioetanol por hidrólise | Excedente eletricidade (GW/h) | Custo prod. bioetanol pela hidrólise (R\$/l) | Investimento na planta de hidrólise anexa (R\$ milhão) |
|------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 2015 | 207,2 | 12,17 % | 98,68 | 1,53 | 124,0 |
| 2025 | 248,5 | 25,57 % | 109,42 | 0,72 | 133,0 |

Aspectos da fase industrial – 2ª geração

Aspectos da gaseificação de biomassa e geração de energia

1. Em estudo preliminar de viabilidade feito recentemente (WALTER E LLAGOSTERA, 2006), mostra-se que o custo da eletricidade gerada em um sistema puramente *Biomass Integrated Gasification to Combined Cycles* (BIG-CC) seria muito maior do que um ciclo combinado convencional a gás natural (96 x 36 US\$/MWh). Por outro lado, o dimensionamento de um sistema *co-firing*, que poderia deslocar em até 12% a demanda de gás natural (base mássica), permitiria a produção de eletricidade a custos próximos a 60 US\$/MWh, com certa margem de flexibilidade do ponto de vista da mistura combustível.
2. Do ponto de vista econômico, a alternativa dos ciclos combinados *co-firing* seria mais adequada no curto prazo como estratégia de viabilização do número de unidades suficiente para que os efeitos de aprendizado possam ser induzidos. No médio e longo prazos, as vantagens econômicas dos ciclos combinados *co-firing* seriam reduzidas em relação aos ciclos puramente BIG-CC, mas ainda continuaria havendo a importante vantagem da flexibilidade do ponto de vista do suprimento do combustível.
3. Os custos dos programas de PD&D em gaseificação de biomassa em larga escala e limpeza dos gases são altos e não faria sentido o Brasil iniciar uma rota própria de desenvolvimento sem estar associado a outros países. Em particular, a tecnologia BIG-CC tem altos custos de desenvolvimento, fatores que irão impor dificuldades para o eventual desenvolvimento endógeno de um projeto nacional. Por outro lado, a sinergia com o desenvolvimento das tecnologias de gaseificação de biomassa para produção de combustíveis líquidos pode resultar em benefícios à tecnologia BIG-CC.

4. Em relação à integração de sistemas BIG-CC às usinas de açúcar e etanol, as conclusões atuais são que, no caso de se dar prioridade para a produção de bioetanol por hidrólise e não para a geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC não seriam justificáveis. Por outro lado, no caso da prioridade ser dada à geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC só seriam justificáveis no caso de integração térmica total, o que requer drástica redução da demanda de vapor de processo. Caso a integração parcial não possa ocorrer, os sistemas BIG-CC não seriam significativamente mais vantajosos do que sistemas a vapor operando com vapor gerado à alta pressão e alta temperatura.
5. Biocombustíveis podem ser produzidos a partir de gás de síntese, resultante da gaseificação de biomassa. A partir do gás de síntese podem ser produzidos combustíveis líquidos pelo processo Fischer-Tropsch (gasolina e diesel), hidrogênio, metanol, etanol, DME (dimetil éter), entre outros. A tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, mas especificamente a síntese de combustíveis pode ser beneficiada pela prévia experiência com uso de gás natural. Os esforços associados à produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa ajudarão a aceleração do desenvolvimento tecnológico e a redução de custos, por efeito de aprendizado, beneficiando também a tecnologia BIG-CC.

3.1. Produção de bioetanol no Brasil

3.1.1. Introdução

Em 2007, o Brasil contava com 370 unidades processadoras de cana-de-açúcar, sendo 294 instaladas na região Centro-Sul e outras 76 na região Norte-Nordeste. Quanto ao tipo de produção, as unidades são divididas em usinas, usinas com destilarias anexas e destilarias autônomas; as primeiras produzem somente açúcar, as segundas fabricam tanto açúcar como bioetanol e as destilarias autônomas apenas etanol. As plantas que produzem bioetanol somavam 355 unidades distribuídas em 283 municípios.

Essas unidades processadoras de cana moeram, em média, 1,5 milhão de toneladas de cana por safra na região Centro-Sul e pouco mais de 1 milhão como média nacional. As destilarias, autônomas ou anexas, produzem em média cerca de 400 mil litros de bioetanol por dia; no início do Proálcool as unidades produziam entre 120.000 e 180.000 litros/dia, tendo havido, portanto, um significativo aumento de escala.

As melhores destilarias produzem aproximadamente 85 litros de bioetanol anidro por tonelada de



cana. As usinas têm produção em torno de 71 kg açúcar e 42 litros de bioetanol para cada tonelada de cana processada.

3.1.2. Distribuição geográfica das usinas

A Figura 2.1-1, apresentada no Capítulo 2, mostra a localização das usinas do país, concentradas na Zona da Mata na região Nordeste e no noroeste do estado de São Paulo, na região Sudeste. Entre os maiores produtores nacionais, destacam-se o estado de São Paulo, que produz próximo de 60% de toda a cana, açúcar e bioetanol do país, e o estado do Paraná, segundo maior produtor de cana, com 8% do total.

3.1.2.1. Região Norte-Nordeste

A região Nordeste é a mais tradicional produtora de açúcar, desde que a indústria açucareira se consolidou em Pernambuco no início do Século XVIII. Com o advento do Proálcool, o setor aderiu à produção de bioetanol e, em 2007, existiam 67 unidades produzindo esse combustível. No Norte, existem apenas duas usinas pequenas, moendo, ambas, um total em torno de 600.000 toneladas de cana por safra.

A região Norte-Nordeste chegou a produzir 2,27 bilhões de litros de bioetanol na safra 1996/1997, caindo para 1,36 bilhão de litros em 2001/2002, chegando a 1,77 na safra 2006/2007. Apesar de ter recuperado um pouco a produção de etanol, a região tem priorizado a produção de açúcar devido à existência de cotas preferenciais para o mercado americano e pela maior proximidade dos mercados importadores. Todavia, a antiga capacidade de produzir bioetanol ainda deve existir.

O estado de Alagoas é o maior produtor de bioetanol da região, e o terceiro do Brasil. De acordo com o as informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) 2007¹, Alagoas conta com 25 usinas, das quais quatro produzem somente açúcar, e estão localizadas, principalmente, numa faixa de 50 km de largura paralela ao litoral.

Pernambuco é o segundo maior produtor do Nordeste com 20 usinas produzindo etanol, mais quatro que produzem somente açúcar. O bioetanol é produzido, também, em nove usinas na Paraíba, quatro em Sergipe e quatro no Maranhão, três na Bahia e duas no estado do Ceará. Os estados do Pará, Piauí e Amazonas, contam com uma unidade produtora, cada.

¹ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento de Cana-de-Açúcar e Agroenergia. Posição em 22/11/2007. Disponível no *site*: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/USINAS_DESTILARIAS/USINAS_CADASTRADAS/UPS_22_11_2007_0.PDF. Acesso em março de 2008.

3.1.2.2. Região Centro-Sul

Esta região concentra as maiores unidades produtoras de bioetanol do país. Em 2007, 288 usinas produziram etanol, sendo que em 191 unidades foi produzido tanto álcool anidro como hidratado. O Centro-Sul chegou a produzir 13,3 bilhões de litros na safra 1997/98, caiu para 10,1 bilhões de litros em 2000/2001 e elevou sua produção para 16,2 bilhões na safra 2006/2007. Na safra 2006/2007, 20 usinas moeram individualmente acima de 3 milhões de toneladas de cana, perfazendo um total aproximado de 85 milhões de toneladas; destas usinas, 17 estão localizadas no estado de São Paulo.

São Paulo, o maior produtor da região, conta com 177 usinas; destas somente cinco produzem exclusivamente açúcar. O Paraná, o segundo maior produtor, tem 31 usinas produzindo etanol; Minas Gerais 30, incluindo uma que produz somente açúcar; Goiás 11; Mato Grosso 19; Mato Grosso do Sul 11; Rio de Janeiro 7, Espírito Santo 6 e uma no Rio Grande do Sul.

A Tabela 3.1-1 apresenta os dez maiores produtores de bioetanol do Centro-Sul e suas respectivas moagens totais na safra 2006/2007.

Tabela 3.1-1- Principais produtores de bioetanol da região Centro-Sul

| Unidade | Etanol (10 ⁶ l) | Moagem Total (10 ⁶ t de cana) |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| Da Barra | 289,3 | 7,02 |
| São Martinho | 286,3 | 6,74 |
| Santa Elisa | 270,1 | 5,96 |
| Vale do Rosário | 230,6 | 5,49 |
| Itamarati | 230,0 | 5,08 |
| Da Pedra | 216,8 | 4,10 |
| Equipav | 214,0 | 4,43 |
| Catanduva | 212,4 | 3,91 |
| Moema | 198,3 | 4,41 |
| Colorado | 181,3 | 4,48 |

Fonte: União dos Produtores de Bioenergia (UDOP), 2008



3.1.3. Modelo de produção

Antes do Proálcool, a produção de bioetanol no Brasil era obtida, essencialmente, do chamado álcool residual, que tinha como matéria-prima o melaço, ou mel final, subproduto da fábrica de açúcar. A partir de 1976, começaram a surgir as chamadas destilarias autônomas, que produziam somente bioetanol a partir do caldo de cana. Em paralelo, foram sendo instaladas destilarias anexas às fábricas de açúcar existentes. Com o crescimento das exportações de açúcar, as destilarias autônomas foram, na sua maioria, convertidas em usinas de açúcar e etanol. A Tabela 3.1-2 mostra a distribuição das usinas de açúcar, destilarias autônomas e usinas com destilarias anexas nos anos de 1990 e 2007.

A capacidade de processamento das unidades de produção varia entre 500.000 toneladas ao ano até 7.000.000 de toneladas.

Em relação à posse da terra usada para o cultivo da cana, 65% do total é de propriedade das usinas, e 35% de produtores independentes, que somam cerca de 70.000 fornecedores.

Tabela 3.1-2: Distribuição do parque sucroalcooleiro

| Tipo de indústria | 1990 | 2007 |
|-------------------------------|------|------|
| Usinas de açúcar | 27 | 15 |
| Destilarias autônomas | 180 | 104 |
| Usinas com destilarias anexas | 168 | 251 |
| Total | 375 | 370 |

3.2. Fase industrial – 1ª geração

3.2.1. Perfil atual do processamento da cana-de-açúcar

A tecnologia de produção de bioetanol e açúcar é muito semelhante, do ponto de vista de processos, em todas as usinas brasileiras; há variações nos tipos e qualidades dos equipamentos, controles operacionais e, principalmente, nos níveis gerenciais. Existe, atualmente, uma boa integração entre as

áreas agrícola e industrial das usinas, o que permite otimizar toda a cadeia produtiva nas unidades mais bem gerenciadas. O sistema de pagamento de cana em uso estimula o produtor independente de cana a entregar a matéria-prima em boas condições, pois há penalidades ou prêmios dependendo da qualidade da cana entregue na usina. Com efeito, ele leva em conta incentivos pelo maior teor de sacarose na cana e deságios pela matéria estranha mineral e os açúcares redutores presentes (ref. Antônio Carlos Fernandes).

A unidade industrial pode ser dividida nas seguintes seções, que serão descritas a seguir: recepção/preparo/moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de etanol, utilidades, disposição de efluentes e estocagem dos produtos. A Figura 3-1 mostra um diagrama de blocos do processamento da cana.

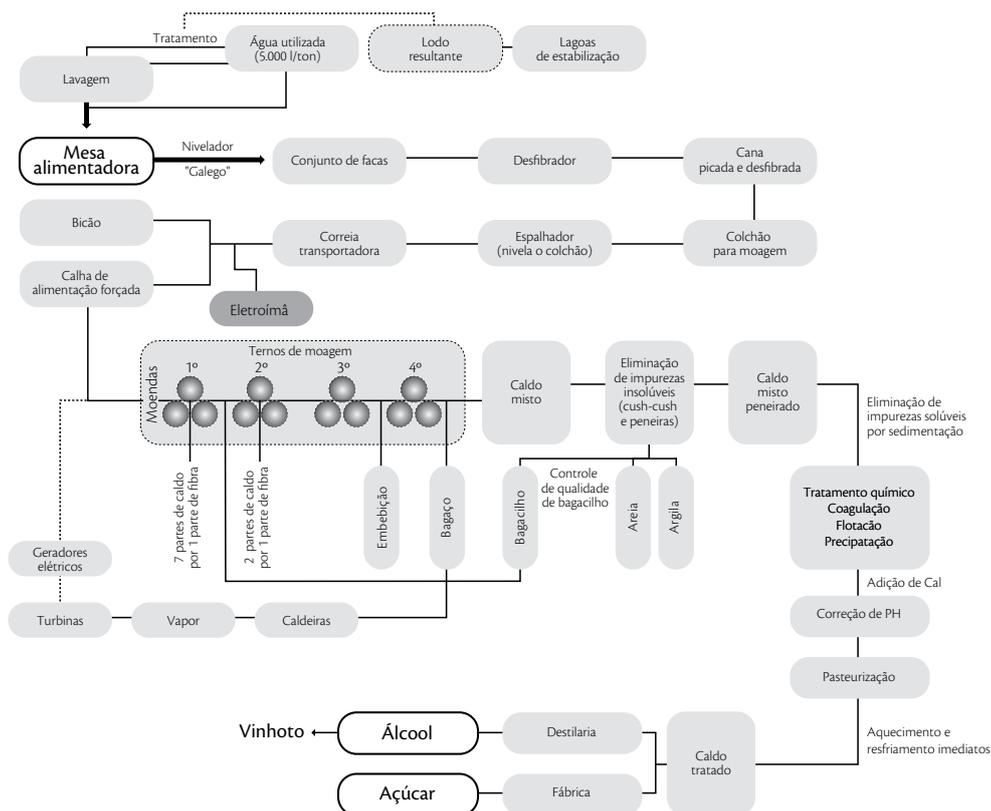


Figura 3-1: Processamento da cana para a produção conjunta de açúcar e etanol



3.2.1.1. Recepção, preparo e moagem

Esta seção da fábrica tem a finalidade de condicionar a cana (limpeza e abertura das células) e extrair o caldo com um mínimo de perda de açúcares da cana, bem como reduzir a umidade final do bagaço. A cana recebida é amostrada aleatoriamente para se aferir sua qualidade (teor de sacarose, fibra, pureza do caldo, etc.).

A cana colhida inteira (corte manual) é normalmente lavada para diminuir as impurezas (que afetam negativamente o processamento da cana) na própria mesa de recepção da cana; no caso de cana picada (corte mecanizado), a cana não pode ser lavada, pois as perdas de sacarose seriam muito elevadas, por isso algumas usinas estão começando a utilizar o sistema de limpeza a seco, baseado em jatos de ar sobre a cana.

Da mesa de alimentação, a cana é transportada por esteiras até os equipamentos de preparo; normalmente existe um ou dois conjuntos de facas rotativas, que tem a finalidade de picar a cana (quando inteira) e/ou nivelar a camada de cana na esteira, facilitando o trabalho do desfibrador. Este equipamento, composto de um rotor com martelos oscilantes e uma placa desfibradora, pulveriza a cana e abre as células que contêm os açúcares, facilitando o processo de extração desses açúcares pela moenda (pelo menos 82% das células devem estar abertas para se conseguir uma boa eficiência de extração nas moendas).

Na saída do desfibrador, a altura do colchão de cana é uniformizada por equipamento denominado espalhador, localizado na descarga da esteira metálica, para uma esteira de borracha de alta velocidade e que alimenta a calha de alimentação forçada da moenda (chute Donnely); dentro desta calha, a cana desfibrada forma uma coluna com maior densidade, aumentando a alimentação e capacidade da moenda. O nível da cana dentro da calha é utilizado para controlar o fluxo de cana para a moenda.

A extração dos açúcares contidos na cana pode ser feita por dois processos: moagem e difusão; o processo de difusão é pouco utilizado no Brasil e, portanto, não será descrito.

A moagem é um processo de extração do caldo que consiste em fazer a cana passar entre dois rolos, com uma pressão pré-estabelecida aplicada a eles. A moenda deve extrair o caldo, como também produzir bagaço, no final do processo, com um grau de umidade que permita sua utilização como combustível nas caldeiras. A moenda é normalmente formada por quatro a sete ternos em série. Após a passagem pelo primeiro destes ternos, a proporção de caldo em relação à fibra cai de aproximadamente sete para algo entre 2 a 2,5, ficando difícil extrair este caldo residual; o artifício usado é o que se chama de embebição. A embebição pode ser simples, composta e com recirculação, sendo

o tipo composta o mais usado. Neste caso, água é injetada na camada de cana entre os dois últimos ternos e o caldo de cada terno é injetado antes do terno anterior até o segundo terno. Normalmente, o caldo extraído no primeiro terno é enviado para a fábrica de açúcar (por ser de melhor qualidade) e o restante do caldo vai para a destilaria. A eficiência de extração de açúcares varia de 94,0% a 97,5% e a umidade final do bagaço é em torno de 50%.

3.2.1.2. Utilidades

Após a extração do caldo, o bagaço, constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%), é transportado por esteiras rolantes para as caldeiras, sendo o excedente enviado ao pátio de estocagem. O bagaço é produzido numa quantidade que varia de 240kg a 280kg por tonelada de cana moída; ele se constitui no único combustível utilizado nas caldeiras a vapor, gerando toda energia necessária ao processamento de cana e, ainda, produzindo uma sobra que varia, na maioria dos casos, entre zero e 10%.

Atualmente, na maioria das usinas, o vapor sai das caldeiras na pressão de 22bar e temperatura de 300°C; nessas condições, ele é expandido em turbinas de contrapressão até 2,5bar, turbinas estas que acionam os principais equipamentos mecânicos da usina (picadores, desfibradores, moendas, exaustores e bombas de água de alimentação das caldeiras), bem como os geradores de energia elétrica, que é fornecida para os vários setores da indústria. O vapor a 2,5bar, denominado de vapor de escape, é ajustado para a condição de saturação e enviado para o processo, fornecendo toda a energia térmica necessária na produção de açúcar e etanol.

3.2.1.3. Tratamento do caldo

O caldo de cana, quando sai do processo de extração, contém uma quantidade de impurezas que tem de ser reduzida para deixá-lo numa qualidade adequada para seu processamento na fábrica de açúcar e na destilaria. A primeira fase do tratamento é destinada à remoção, por meio de peneiras, dos sólidos insolúveis (areia, argila, bagacilho, etc.), cujos teores variam entre 0,1% e 1,0%. A segunda fase é o tratamento químico, cujo objetivo é remover as impurezas insolúveis que não foram eliminadas na fase anterior e as impurezas coloidais e solúveis; este processo visa à coagulação, floculação e precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação. É necessário, ainda, fazer a correção do pH para evitar inversão e decomposição da sacarose.



O caldo tratado pode ser enviado à fabricação de açúcar ou de etanol. Na fabricação do açúcar, é obrigatória a etapa de sulfitação, que tem como objetivos principais inibir reações que causam formação de cor, coagulação de colóides solúveis, e formação do precipitado CaSO_3 (sulfito de cálcio) e diminuir a viscosidade do caldo e do xarope, massas cozidas e méis, facilitando as operações de evaporação e cozimento.

Após passar pelo tratamento inicial, o caldo deverá passar pela pasteurização com aquecimento e resfriamento imediato. Um tratamento mais completo do caldo implica adição de cal, aquecimento e posterior decantação, tratamento semelhante ao utilizado na fabricação de açúcar.

Em geral, o resfriamento do caldo é realizado em duas etapas:

- a) Fazendo-se passar o caldo quente por um trocador de calor regenerativo em contracorrente com o caldo misto frio, onde o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado (60°C);
- b) Resfriamento final até aproximadamente 30°C , normalmente realizado em trocadores de placas utilizando água, em contracorrente como fluido de resfriamento.

O processo de fabricação de açúcar não será descrito, por não interessar diretamente ao objetivo do estudo, e o processo de fabricação de bioetanol é descrito a seguir.

3.2.2. Tecnologia praticada atualmente na produção de etanol

Atualmente, a matéria-prima para a fermentação tem uma proporção considerável de mel, comparada com os mostos fermentados na década dos anos 1980, já que atualmente predominam as destilarias anexas.

A maior parte do bioetanol é produzido por um processo de fermentação em batelada alimentada com reciclo de fermento (em torno de 80% do total). O restante do bioetanol é produzido por fermentação contínua multiestágio com reciclo de fermento, cujo processo é baseado na fermentação contínua proposta por Guillaume.

Com o aumento da moagem para fabricação de açúcar e a consequente geração de maior proporção de méis, o processo contínuo vem perdendo participação devido à dificuldade de operar esta-velmente com percentagens elevadas de mel final.

Os parâmetros característicos da fermentação, atualmente, são:

- Rendimento de conversão de açúcar acima de 90%, atingindo 91% em algumas usinas;
- Os títulos de bioetanol no vinho atingem 8,0-9,0 °GL;
- Tempos de fermentação de 6 a 11 horas;
- Concentração de fermento no vinho final típica de 13% V/V;
- Volume final de vinhoto após destilação 12-15 litros/litro de etanol.

Na recuperação de bioetanol do vinho final e obtenção de álcool etílico hidratado carburante (AEHC), praticamente todas as destilarias obedecem ao mesmo padrão, empregando conjunto de coluna destiladora com esgotadora, epuradora e concentradora de cabeças, sendo a retificação da flegma realizada em conjunto esgotador, retificador ou com esgotamento final da flegmaça na destiladora (Flegstil).

Estes conjuntos são operados à pressão ambiente, empregando o vapor de escape das turbinas. Até o momento, não existe em operação nenhum arranjo para aumentar a eficiência energética da produção de AEHC acima dos valores correntes de 3-3,5 kg vapor por litro de etanol.

A produção de álcool etílico anidro carburante (AEAC) é feita, em sua maior parte, empregando a destilação azeotrópica, usando ciclohexano como ternário de desidratação e sem maiores recursos de otimização energética para redução dos atuais 1,5 kg a 2,0 kg de vapor por litro de etanol.

Mais recentemente, foram introduzidas a destilação extrativa com mono etileno glicol como agente extractante e o processo de absorção com peneiras moleculares, ambos com consumos energéticos significativamente menores.

3.2.3. Caracterização de uma destilaria padrão

3.2.3.1. Introdução

As unidades de produção de etanol, segundo o modelo adotado neste estudo para os cenários de expansão da produção, são destilarias autônomas com uma capacidade de moagem de 12.000 toneladas de cana por dia, operando em 167 dias efetivos de moagem por ano-safra. Assumindo um coeficiente de conversão de 85 litros de bioetanol por tonelada de cana, a capacidade de produção diária de bioetanol é de 1.020.000 litros, equivalentes a 1.019.020 litros de AEHC ou 996.608 litros de AEAC.



O diagrama de blocos da Figura 3-2 representa, esquematicamente, o processo de produção que se entende que melhor atende uma unidade na escala aqui prevista.

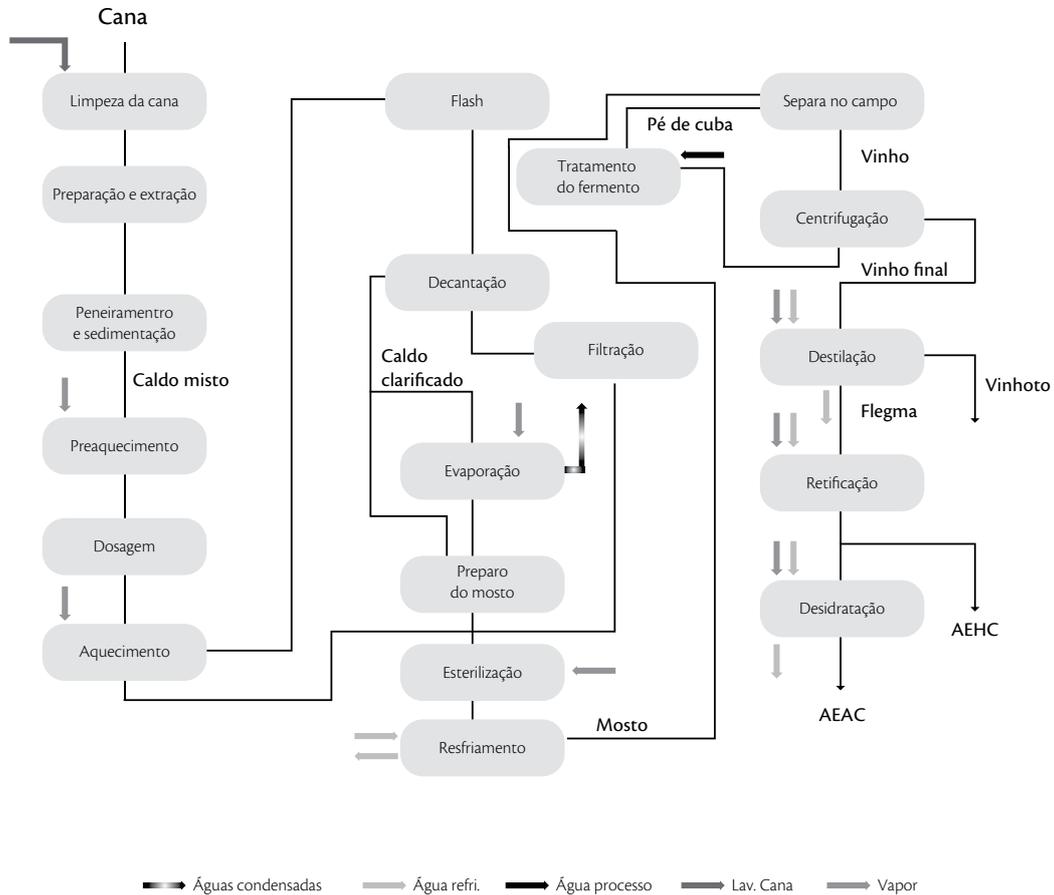


Figura 3-2: Esquema do processo de produção de etanol

O processo considerado como mais apropriado para a nova geração de destilarias autônomas é baseado nas melhores condições tecnológicas praticadas atualmente, redirecionada para produção apenas de etanol, com alta eficiência de conversão de açúcares, baixo consumo energético, estabilidade de processo e compatibilidade com o meio ambiente.

3.2.3.2. Recepção e limpeza de cana

A cana é descarregada nas mesas alimentadoras e submetida, preferencialmente, a um processo de limpeza a seco. Em algumas regiões, é feita a limpeza com água se a cana for inteira, utilizando no máximo 2,5 m³ de água por tonelada de cana. Nesse caso específico, o circuito é fechado, recirculando a água, que recebe tratamento. Há somente um consumo equivalente a 10% do total empregado. O despejo de água e matéria em suspensão (terra e biomassa vegetal) é feito na lavoura.

A cana picada resultante do corte e limpeza mecanizada é descarregada diretamente nas mesas de 45 ° e transferidas para as esteiras de transporte que conduzem a cana para o setor de preparo. Os processos de limpeza em mesas de 45 ° a seco ou com recirculação de água de arrasto, assim como o de recepção de cana picada, podem ser considerados como procedimentos padrão nas condições atuais.

A limpeza pneumática (a seco), estando em via de implantação, aparece como uma alternativa que reduz substancialmente o consumo de água.

3.2.3.3. Preparo de cana

A cana é submetida ao procedimento convencional de nivelamento em picadores e desfibramento e abertura de células em desfibradores de martelos oscilantes. Esses processos se encontram suficientemente otimizados, tendo atingido alto grau de eficiência, podendo ser considerados padrão para o modelo de produção de bioetanol aqui desenvolvido.

3.2.3.4. Extração

A tecnologia considerada como padrão é a extração via moendas, com rolos de pressão e de alimentação, conforme instalado nas usinas da Região Centro-Sul, tecnologia esta otimizada e próxima do limite de eficiência máxima atingível (97,0% - 97,5%). Este sistema está amplamente difundido, existindo fabricação nacional dos equipamentos necessários para atender à capacidade de moagem prevista neste trabalho.

Menos difundida no Brasil, tem-se a opção de emprego de difusores. Trata-se de uma segunda opção a considerar, levando em conta a experiência limitada em operação dessa tecnologia e o fato da moagem deste estudo estar acima das capacidades dos difusores disponíveis no mercado.



Uma terceira opção ainda não disponível, porém em via de consolidação, é o sistema de extração hidrodinâmica.

3.2.3.5. Pré-tratamento físico do caldo

Esse processo deve levar em conta a necessidade de remoção de particulados ao extremo, por meio de pré-tratamentos físicos seguidos de um tratamento de caldo que atenda os requerimentos de uma fermentação com alta eficiência de conversão de açúcares e estabilidade operacional.

O caldo misto extraído arrasta uma quantidade de fibras, terra e areia que deverão ser removidos para que não interfiram posteriormente na fermentação.

Para um processo previsto numa escala de 12.000 toneladas de cana diária, torna-se possível a separação das operações de tratamento em estágios sucessivos, com ganho em eficiência.

O caldo extraído é submetido a um peneiramento inicial em peneiras rotativas integradas com o conjunto de extração. Um segundo peneiramento é feito em peneiras hidrodinâmicas para remoção de material fibroso de menor tamanho, assim como parte dos inertes. Finalmente, o caldo é submetido a uma sedimentação em hidrociclones para remoção de areia e terra, ficando pronto para o tratamento físico e químico a seguir.

3.2.3.6. Tratamento do caldo e esterilização do mosto

As destilarias atualmente em operação são, em geral, unidades anexas, sendo que os procedimentos de tratamento de caldo para fermentação praticados são uma adaptação do tratamento para fabricação de açúcar.

No modelo estudado, considera-se a realização de um tratamento de caldo específico para produção de etanol. Para isto, o caldo deve ficar livre de partículas discretas ou coloidais, ceras e graxas, assim como proteínas que precisam ser removidas. A floculação e decantação devem ocluir nos flocos o maior número de microrganismos originalmente presentes no caldo. O processamento deve ser realizado a temperaturas que controlem a propagação dos microrganismos.

O caldo tratado deve passar por um aquecimento final que garanta uma esterilização de grau técnico. O processo mais adequado a este propósito envolve um pré-aquecimento de caldo, dosagem

de cal, um aquecimento posterior acima do ponto de ebulição, uma desaeração por expansão instantânea, adição de polímero floculante e decantação. O caldo clarificado é submetido a um novo aquecimento num processo chamado *HTST* (alta temperatura e breve tempo de exposição) para morte térmica de micro-organismos e imediatamente pré-resfriamento regenerativo, seguido de resfriamento final até a temperatura de 32°C.

Os aquecimentos são feitos por contato direto empregando os vapores gerados nas etapas de pré-resfriamento flash, vapor de escape e, no estágio final, vapor vivo.

Os pré-resfriamentos são por evaporação instantânea em câmaras de expansão. Para a decantação são empregados decantadores rápidos tipo *Sugar Research Institute (SRI)*, Austrália, por se tratarem de equipamentos de melhor custo benefício, quando comparados aos multibandejas, e que se provaram eficientes para o tratamento de caldo para destilaria.

O projeto do sistema deve introduzir conceitos sanitários, evitando regiões estagnantes, formação de filmes de micro-organismos e curto-circuitos que promovam a recontaminação. As seções a jusante, posteriores ao tratamento térmico final até a seção de fermentação, devem ser projetadas com critérios de engenharia sanitária (equivalentes aos padrões de projeto da indústria alimentar: laticínios, processamento de sucos, etc.).

O lodo resultante da decantação deve ser separado em filtros rotatórios, desadoçado por lavagem, e os caldos filtrados reciclados ao tratamento de caldo. A prática de enviar os lodos de liquidação de decantadores diretamente à fermentação, comum nas unidades que tem como meta a produção de açúcar de qualidade em detrimento da fabricação de etanol, devem ser abolidas.

3.2.3.7. Concentração do caldo e preparo do mosto

Para atingir uma fermentação com alto grau alcoólico do vinho final a destilar (maior que 8,5°GL e preferencialmente entre 10,0 °GL e 11,0°GL), é necessário concentrar uma parte do caldo em evaporadores em múltiplo efeito. Este xarope é misturado com o restante do caldo, para obter, assim, o mosto com o teor de açúcares requerido.

Evaporadores do tipo de filme descendente atendem esta etapa. Outros evaporadores como os de placas ou de névoa turbulenta podem ser considerados.



3.2.3.8. Fermentação

O processo recomendado é uma fermentação com vinho final de graduação elevada (10°GL). Isso requer uma fermentação estável com fermento ativo, livre de inibição, infecção e floculação. Para atingir essas condições e alta eficiência de conversão de açúcares em bioetanol e produtividade de etanol, deve ser instalado um sistema de resfriamento eficiente. Os sistemas de fermentação devem ser fechados e com lavagem do gás de exaustão para recuperação de bioetanol arrastado.

A recuperação de fermento se faz com centrífugas de alta eficiência capazes de concentrar o leite até 65% em volume, estando prevista a centrifugação sequencial em duas etapas com diluição intermediária do fermento com água.

Dois processos estão disponíveis, provados e amplamente difundidos na região Centro-Sul: a fermentação em batelada alimentada com reciclo e reativação de fermento, derivada do processo Melle-Boinot, e a fermentação contínua múltiplo estágio com reciclo e reativação de fermento.

A fermentação contínua é a tecnologia mais adequada para destilarias do porte aqui considerado, trazendo vantagens em custo instalado, custos referentes à mão de obra e energia envolvidas no processo, e vantagens relacionadas ao controle operacional, instrumentação e automação. Operando com mostos de caldo, a fermentação contínua se provou com a mesma eficiência em relação ao processo em batelada alimentada, e ainda com produtividade maior.

O processo em três dornas sequenciais, correspondendo a primeira a 50% do volume total, com separação centrífuga do fermento em dois estágios e tratamento de reativação do fermento contínuo e em cascata, é a opção preferencial. Para atingir a melhor condição operacional, essa configuração deve ser acrescida de homogeneização mecânica do vinho em fermentação e resfriamento por trocadores a placas.

A fermentação em batelada alimentada com reciclo e reativação de fermento é uma segunda opção, considerando sua flexibilidade operacional e os recursos para lidar com condições desfavoráveis de temperatura de fermentação e deficiência na qualidade do mosto.

Outros processos alternativos de fermentação não são aqui considerados, pois o grau de conhecimento deles é limitado ou os resultados obtidos em instalações em operação não atingiram às expectativas no que diz a rendimento, produtividade e estabilidade operacional.

3.2.3.9. Destilação

A destilação do vinho e a retificação do bioetanol são conduzidas por meio do sistema de destilação e retificação atualmente em operação.

A desidratação final a AEAC deve ser feita preferencialmente com peneiras moleculares, procedimento que melhor se adapta nesta escala de produção e que conta com a vantagem adicional do baixo consumo de vapor por litro de etanol.

O processo de absorção com monoetilenoglicol (MEG) como agente sequestrador da água seria a segunda opção. Esse processo também está amplamente difundido e provado.

O processo de destilação azeotrópica com ciclohexano, desde que reformulado para otimização do consumo de vapor de aquecimento, pode ser uma alternativa de desidratação. Já existem antecedentes do uso em outros países de unidades otimizadas do ponto de vista energético para produção de AEAC, com consumos de vapor da mesma ordem dos previstos pelas técnicas do MEG e das peneiras moleculares.

3.2.3.10. Geração de vapor e energia elétrica

Os sistemas de produção de energia elétrica atualmente utilizados na indústria sucroalcooleira são sistemas com ciclos a vapor de água, com queima direta do bagaço de cana, e operando em regime de cogeração. No setor existe hoje uma transição, evoluindo-se desde sistemas a vapor de média pressão (até 22 bar) para sistemas de alta pressão de vapor (65 bar e 82 bar). Isso tem permitido às indústrias do setor, além da autossuficiência em energia elétrica, a geração de excedentes para fornecimento ao sistema elétrico.

As tecnologias de ciclos a vapor atualmente em uso no Brasil são amplamente dominadas, e apresentam custos de investimentos dos equipamentos altamente competitivos. Essas tecnologias consideram: caldeiras com capacidade variando entre 60 e 200 toneladas de vapor por hora, com pressões do vapor vivo variando entre 22bar a 65bar (abs.) e temperaturas entre 300°C e 480°C. Na combustão de combustíveis sólidos (bagaço de cana por exemplo), usa-se grelha fixa ou móvel principalmente (grelha inclinada e *pin hole*). Sistemas de leito em suspensão e de leito fluidizado, embora pouco utilizados ainda, são muito promissores. Há uma tendência ao seu uso nas novas unidades de geração de vapor sendo construídas. Busca-se, atualmente, o aumento da eficiência das caldeiras



basicamente pelo lado da melhora da eficiência nos processos de combustão, principalmente quando se trata de combustíveis sólidos como o bagaço de cana.

As turbinas a vapor podem ser de simples ou múltiplos estágios, de contrapressão ou de condensação com extração controlada, e pressões nos sistemas de condensação da ordem de 0,11 bar a 0,12 bar absoluto. Geralmente são turbinas de ação e de baixo grau de reação.

Os investimentos estimados no setor, da ordem de R\$ 700 a R\$ 1.100/kWe para sistemas de baixa e alta pressão (desde 22 bar até 80 bar) são competitivos em relação aos atuais custos da energia elétrica comercial. Investimentos de até R\$ 1.350/kWe podem ser viáveis no setor (MACEDO, 2003).

3.2.4. Inserção de melhorias na destilaria padrão

A expansão da produção de bioetanol e a implantação de novas destilarias exigem que as mesmas sejam projetadas para atingir alta eficiência de conversão dos açúcares redutores totais extraíveis da cana. Também é necessário que as unidades não apresentem deficiências em equipamentos e na incorporação de tecnologia de ponta. Além disso, deve ser dada ênfase à correção ou redução de práticas inadequadas do ponto de vista ambiental. Assim, essa transição de aumento da produção deve ser acompanhada de uma reformulação das unidades, focadas também na redução de emissão de efluentes, sólidos líquidos e gasosos, e no uso racional e sustentável dos recursos naturais, em particular terra e água.

Os valores médios das eficiências de conversão de uma amostra representativa de unidades localizadas na região Centro-Sul, que atendem a boas práticas de fabricação e estão instaladas sem deficiências de equipamentos, representam uma boa referência para estabelecer a eficiência atual das destilarias de etanol.

A Tabela 3.2-1 apresenta os valores médios de alguns parâmetros que caracterizam a produção de etanol. Os valores correspondem a registros do Programa de Controle Mútuo (Safrá 2005-2006), gerido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que cedeu as informações aqui apresentadas.

A natureza das perdas de ART pode ser analisada através dos dados da Tabela 3.2-1. As perdas mais importantes e que merecem mais atenção estão associadas à extração (26,38%) e à fermentação (36,57%).

Tabela 3.2-1: Perdas de ART no processo de produção do etanol

| Natureza das perdas de ART | Valor atual (%) | Contribuição (%) |
|----------------------------------------|-----------------|------------------|
| Perda na lavagem de cana | 0,47 | 3,32 |
| Perda na extração | 3,73 | 26,38 |
| Perda na torta | 0,54 | 3,82 |
| Perda na fermentação | 5,17 | 36,57 |
| Perda na destilação (devido à vinhaça) | 0,18 | 1,27 |
| Perdas indeterminadas | 4,05 | 28,64 |
| Total | 14,14 | 100,00 |

Neste item, apresenta-se um modelo para incorporação das mudanças tecnológicas de uma forma gradativa. São apresentados três cenários de evolução tecnológica, traçados sobre a destilaria padrão, com uma moagem diária de 12.000 toneladas de cana por dia:

- A destilaria de bioetanol de cana-de-açúcar empregando a tecnologia atual, porém otimizada, no limite atingível desta tecnologia;
- A destilaria padrão incorporando uma série de inovações e melhorias que deverão ser adotadas até 2015;
- A destilaria padrão com uma nova incorporação de melhorias que deverão acontecer até 2025.

As mudanças tecnológicas tratam de tecnologias provadas, que estão disponíveis e não são adotadas por diversos motivos, tais como:

- Serem intensivas em recursos de capital;
- Serem pouco atrativas, pela baixa margem de contribuição que oferecem na situação atual;
- A legislação ambiental não exigir ainda adequação de diversas práticas operacionais;
- Ausência de incentivos governamentais para promover as inovações.

Nessa análise da incorporação de tecnologias para melhoramento do desempenho industrial, utiliza-se o rendimento agrícola com os valores médios fixados no estabelecimento das bases da destila-



ria padrão. Isso permite visualizar o impacto da introdução das melhorias tecnológicas na destilaria. O aumento do rendimento agrícola é então aplicado proporcionalmente.

A lavagem de cana é eliminada, sendo substituída por procedimentos de limpeza a seco. O resultado desta ação é a extinção das perdas de açúcar associadas à lavagem.

Os processos de preparo e extração são aprimorados para passar, gradativamente, das eficiências de extração atuais a 98%. Essa meta é atingida por intermédio do aprimoramento dos conjuntos de moagem e pela introdução de difusores com maior potencial de extração. Também, alternativa ainda em estágio de desenvolvimento, a extração hidrodinâmica deverá estar disponível em futuro próximo. Porém, essa alternativa não foi considerada neste estudo, pois o estágio de desenvolvimento em que se encontra não permite afirmar que irá se consolidar como alternativa econômica à moenda e ao difusor.

A fermentação alcoólica, sobre a qual pesam as maiores perdas, terá que passar por mudanças mais radicais, a fim de reverter o quadro de eficiência desfavorável. As mudanças na fermentação alcoólica, que aqui foram consideradas, não são de substituição da tecnologia atual (fermentação em batelada alimentada ou contínua em múltiplos estágios, ambas com reciclo de levedura) e sim o aprimoramento da tecnologia existente, a qual permite atingir uma eficiência de conversão de até 91,5%. Essas mudanças podem ser resumidas nas seguintes ações:

- Reformulação do processo de tratamento de caldo e preparo de mosto para remoção de matéria em suspensão e esterilização do mosto;
- Introdução da dupla centrifugação para eliminação de micro-organismos contaminantes;
- Otimização dos sistemas de resfriamento para redução da temperatura de fermentação (dos atuais 34-35°C para no mínimo 30°C);
- Operação com alto grau alcoólico final (no mínimo até 12-13°GL), com redução do volume de vinhoto e do consumo energético na destilação;
- Reativação do fermento de forma que permita estabilidade operacional;
- Fermentação com linhagens selecionadas de levedura;
- Eliminação do emprego do ácido sulfúrico;
- Banimento do emprego de antibióticos;
- Introdução de monitoramento através de sensores e automação do processo.

Não se considerou neste estudo a introdução de novas tecnologias de fermentação, pois no estágio de desenvolvimento em que se encontram não é possível fazer uma previsão tecnológica de que elas estarão disponíveis nos horizontes considerados.

Quanto aos processos de destilação em uso, a tecnologia empregada por nossas destilarias foi desenvolvida para produção de álcool etílico industrial a partir de melaço, operando com baixo grau de automação, aparelhos de porte pequeno, exigindo múltiplas unidades para atender a capacidade da destilaria padrão. Os sistemas em operação atualmente têm limitações para redução do consumo energético. A maioria das unidades emprega a desidratação por destilação azeotrópica com ciclohexano num único estágio. Algumas unidades estão começando a ampliar sua capacidade por meio de incorporação do processo de destilação extrativa com mono-etileno-glicol e algumas poucas empregam absorção em peneiras moleculares.

A reformulação da destilação é crítica para redução do consumo de vapor de processo e para disponibilizá-lo para pré-concentração do caldo, necessária para operar a fermentação em alto grau alcoólico. A substituição do conjunto de colunas de destilação atuais (cuja capacidade nominal é em média 250.000 litros por dia) por aparelhos maiores e completamente automatizados (1.000.000 litros por dia) precisa ser introduzida para reduzir as perdas de bioetanol junto ao vinhoto, os custos operacionais e a parcela referente ao custo de investimento por litro de bioetanol produzido.

O processo por destilação e retificação em múltiplos efeitos permite uma redução do consumo de vapor de processo e da demanda de água de resfriamento.

Da mesma forma, a desidratação por meio de alternativas como a destilação extrativa com mono-etileno-glicol, peneiras moleculares e destilação extrativa com ciclohexano em múltiplos efeitos se traduzem em redução significativa do consumo de vapor de processo.

Essa redução do consumo de vapor é determinante para geração de excedentes de bagaço e de energia elétrica, também para viabilizar a operação de processos de concentração térmica de vinhoto, considerando que sua introdução é necessária para reduzir o volume de efluentes e a captação de água para o processo, além do fato de que não é possível prever a disponibilidade de tecnologia para concentração de vinhoto por membranas. Completando as alternativas de desidratação com baixa demanda de vapor, pode-se fazer uma previsão da entrada dos processos de desidratação por pervaporação através de membranas. Esses processos já se provaram eficientes e de baixo consumo energético, ficando limitado seu uso pelo custo elevado das membranas. A evolução rápida da tecnologia de membranas, bem como os estudos consultados sobre a tecnologia de pervaporação,



conduzem à expectativa de que entre o primeiro e segundo horizonte examinados neste estudo essa tecnologia estará disponível.

A Tabela 3.2-2 apresenta o desempenho dos processos de destilação retificação, convencional e em dois e três efeitos, em relação ao consumo de vapor e energia elétrica por litro de bioetanol final, assim como para as alternativas de desidratação a bioetanol anidro carburante.

O processo de destilação azeotrópica empregando ciclohexano como agente ternário, quando aplicado na forma convencional, é o mais desfavorável do ponto de vista energético. Uma primeira otimização, que , aumenta o número de estágios na coluna de desidratação e na regeneradora da fase rica em água, reduz esse consumo, porém ele ainda se mostra desfavorável quando comparado aos outros processos. Já uma reformulação do processo por meio da operação em múltiplos estágios, empregando três níveis de pressão (média, atmosférica e vácuo), coloca-o numa condição muito favorável, com consumo de energia equivalente ao das peneiras moleculares e mais vantajoso que a destilação extrativa com mono-etileno-glicol. Do ponto de vista do consumo energético, o processo mais eficiente é o de pervaporação.

Outros fatores devem ser levados em consideração, tais como:

- As peneiras moleculares produzem bioetanol anidro de maior pureza e sem contaminantes;
- A possibilidade de empregar destilação azeotrópica em múltiplos efeitos se torna viável para destilarias de grande porte, como é o caso da destilaria padrão (1.000.000 litros/dia) adotada neste estudo, que apresenta consumo energético da mesma magnitude do MEG e das Peneiras Moleculares;
- A destilação com ciclohexano e absorção com MEG deixa resíduos de compostos químicos no AEAC; o ciclohexano é tóxico e resíduos do MEG encontrados no AEAC têm sido apontados como perigosos;
- O processo de destilação extrativa pode ser otimizado com redução do consumo energético;
- As peneiras moleculares também são passíveis de otimização;
- O processo de destilação azeotrópica poderia ser reformulado pela substituição do ciclohexano por parafinas, cujo residual ficaria incorporado ao AEAC;
- A pervaporação é a tecnologia mais eficiente do ponto de vista do consumo energético, onde o AEAC obtido é de alta pureza. Sendo a mais recente das tecnologias (encontra-se em estágio de demonstração), justifica-se um estudo mais detalhado da mesma.

Tabela 3.2-2: Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação

| Tecnologia empregada | Consumo de vapor kg/m ³ de AEHC | Consumo de energia elétrica kWh/m ³ de AEAC | Energia primária total kcal/m ³ de AEAC | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Destilação com ciclohexano convencional | 1750 | - | 1272,5 | Vapor de escape |
| Destilação com ciclohexano otimizada | 1450 | - | 1062,5 | Vapor de escape |
| Destilação com ciclohexano a 3 efeitos | 580 | 23 | 435,5 | Vácuo, vapor de escape e vapor de baixa pressão |
| Absorção com MEG | 750 | 15 | 572,5 | Vapor a 10 bar |
| Pervaporação | 110 | 34,5 | 124,5 | Vapor de escape e vácuo |
| Peneiras moleculares | 550 | 19 | 432,5 | Vapor a 10 bar e vácuo |

A inserção das melhorias acima descritas na destilaria padrão pode ocorrer de forma gradativa, primeiro incorporando melhorias de eficiência nas unidades existentes e, em sequência, reformulando o projeto das novas unidades que devem ser implantadas.

A Tabela 3.2-3 apresenta os parâmetros de desempenho da destilaria padrão, tomando como base valores típicos da região Centro-Sul. Nesta condição, é possível recuperar 85 litros de AEAC por tonelada de cana. Nessa tabela e nos estudos comparativos do impacto de introdução de novas tecnologias, fixou-se o rendimento agrícola, o teor de açúcares redutores totais e o de fibra na cana. Estudos futuros introduzindo uma projeção da evolução destes parâmetros podem levar a ganhos incrementais no rendimento industrial.



Tabela 3.2-3: Parâmetros de desempenho da destilaria padrão

| Item | Destilaria padrão | Destilaria padrão otimizada |
|------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Moagem/ano safra (toneladas de cana) | 2.000.000 | 2.000.000 |
| Dias úteis/ano safra | 167 | 167 |
| Rendimento agrícola (toneladas por hectare) | 71 | 71 |
| Moagem diária (toneladas de cana por dia) | 11.976 | 11.976 |
| Rendimento industrial (litros bioetanol /tonelada de cana) | 85 | 88 |
| Produção diária (litros) | 1.017.964 | 1.053.892 |
| Produção safra/usina (litros) | 170.000.000 | 176.000.000 |
| Área agrícola da Destilaria (ha) | 28.000 | 28.000 |
| ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana) | 159 | 159 |
| Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana) | 140 | 140 |
| Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana) | 280 | 280 |
| Eficiência na extração (%) | 96,0 | 96,3 |
| Eficiência no tratamento do caldo (%) | 97,0 | 99,5 |
| Rendimento na fermentação (%) | 89,26 | 89,70 |
| Rendimento na destilação (%) | 99,0 | 99,5 |
| Rendimento global (%) | 82,29 | 85,50 |

Uma otimização deste processo, melhorando fundamentalmente o desempenho da extração e da fermentação, já colocado em prática por algumas destilarias de ponta, permite um ganho para 88 litros de AEAC por tonelada de cana, referidos novamente a um rendimento agrícola de 71 toneladas de cana por hectare, como mostrado na Tabela 3.2-3.

3.2.5. Integração energética otimizada

As necessidades energéticas de uma destilaria autônoma, relacionadas às demandas de calor, eletricidade e energia mecânica, são atendidas pela planta de cogeração que consome a biomassa residual gerada no processo. O bagaço de cana, atualmente empregado como combustível em todas as usinas de cana-de-açúcar existentes no país, é consumido em sistemas a vapor que, ao operarem com maior eficiência, propiciam a redução do consumo de combustível e/ou aumento da geração de excedentes de eletricidade.

O processo produtivo demanda vapor a baixa pressão, normalmente a 2,5 bar, como fonte de calor para processos de tratamento e evaporação do caldo e destilação do etanol. O consumo de vapor pode variar em função do grau da tecnologia e da integração térmica existente, o que influencia diretamente o consumo de combustível na caldeira. Além disso, sistemas de cogeração que operam com turbinas de extração-condensação necessitam baixos consumos de vapor de processo para que o último estágio das turbinas tenha condições de operar com vazões suficientes para justificar o investimento.

Os sistemas de preparo da cana e de extração do caldo também são consumidores de vapor para acionamento das turbinas, que fornecem energia mecânica aos picadores, desfibradores e ternos de moenda. Normalmente, a extração de vapor para atendimento dessa demanda ocorre a 22 bar de pressão, sendo que a vazão varia de acordo com a eficiência da turbina de acionamento. A substituição das antigas turbinas de simples estágio por turbinas multi-estágio, de maior eficiência, vem ocorrendo em muitas usinas e destilarias, o que possibilita o aumento da geração de excedentes de eletricidade no sistema de cogeração.

Outro avanço tecnológico importante quanto ao sistema de preparo e de moagem da cana é o emprego de motores elétricos para acionamento dos equipamentos, em substituição às turbinas a vapor. A eletrificação desses sistemas possibilita um aumento significativo na eficiência de conversão da energia, o que resulta em aumento de geração elétrica excedente. Alternativamente, algumas usinas têm empregado sistemas de acionamento hidráulico, que representam uma solução intermediária, do ponto de vista da eficiência e da geração de excedentes elétricos, entre o acionamento puramente elétrico e o acionamento puramente mecânico diretamente viabilizado por turbinas a vapor.

Atualmente, no Brasil e em todo o mundo, somente sistemas a vapor são encontrados nas usinas de cana-de-açúcar. Esta é uma tecnologia amplamente conhecida pelo setor e, no Brasil, são utilizados majoritariamente equipamentos de fabricação nacional. Diversos fabricantes de caldeiras, turbinas a vapor e geradores elétricos são encontrados na indústria nacional, sendo que muitos também atendem o mercado externo.



Os sistemas de cogeração mais eficientes em operação no setor de cana-de-açúcar nacional são ciclos a vapor que trabalham com vapor vivo a 65 bar de pressão (variando entre 60 e 65 bar na maioria dos casos) e 480°C de temperatura. A tendência verificada junto aos fabricantes é o emprego de parâmetros mais elevados na geração de vapor, propiciando maior eficiência na geração elétrica. Existem diversas consultas de usinas para viabilizar sistemas que operem a mais de 80 bar de pressão, embora as vendas ainda se concentrem em sistemas de 42 e 65 bar. Foi verificado que um projeto, atualmente em construção, conta com um sistema de 90 bar de pressão.

O aumento da temperatura do vapor gerado pelas caldeiras é outro fator considerado para aumento de eficiência na geração elétrica. São encontradas no mercado caldeiras de 65 e 90 bar com temperatura máxima de 520°C. Segundo fabricantes de caldeiras, existe uma limitação econômica para o emprego de temperaturas mais altas na geração do vapor vivo, uma vez que no Brasil são produzidos aços que podem suportar temperaturas de até 520°C. O emprego de aços especiais, que suportam temperaturas acima deste nível, teria que ocorrer com a importação do material ou por encomenda de lotes específicos à indústria nacional, o que torna os custos proibitivos.

Também foi verificada uma tendência de aumento da capacidade de geração de vapor das caldeiras destinadas ao setor sucroalcooleiro. Atualmente, a maior parte das vendas destina-se a caldeiras de capacidade de geração de vapor de 150 a 250 t/h e eficiência acima de 85% (base PCI), segundo os fabricantes. Novos projetos em fase de conclusão e alguns já instalados contam com caldeiras de 300 a 450 t/h de vapor gerado.

A tendência, quando se trata de caldeiras de maior capacidade, é a construção de caldeiras do tipo monodrum. Essa tecnologia é novidade no setor sucroalcooleiro, mas já vem sendo empregada há vários anos, no Brasil e no mundo, em setores como o de papel e celulose, petroquímicas e termelétrico. Segundo os fabricantes, a tecnologia possibilita a adoção de grandes vazões de vapor e pressões superiores a 100 bar.

Com relação às turbinas a vapor nacionais, verificou-se que os sistemas mais modernos vendidos atualmente para o setor de cana-de-açúcar são turbinas que operam com vapor de entrada a 65 bar e 490°C e com sistemas de condensação e extração controlada e contra-pressão. A potência das turbinas nacionais, segundo os fabricantes, está limitada a 50 MW por motivos econômicos, uma vez que os geradores elétricos nacionais atendem somente até esse nível de potência, sendo a importação desinteressante do ponto de vista da viabilidade do investimento.

Foi verificado que existe tecnologia na indústria nacional para produção de turbinas a vapor de reação com potência de até 150 MW, operando com vapor de admissão de até 120 bar e 530°C, mas

destinadas ao mercado externo. Alguns projetos estão em andamento visando à compra de turbinas de 85 bar e 520°C. Entretanto, parte significativa das vendas ao setor estava concentrada em turbinas que operavam com vapor a 22 bar/320°C (sistemas que apenas viabilizavam a autossuficiência do atendimento elétrico) e 42 bar/420°C (que permitiam a geração de excedentes elétricos modestos); a partir de 2007 a maioria dos equipamentos vendidos são para condições de vapor acima de 60 bar, possivelmente motivado por financiamentos mais favoráveis para esta situação.

Para simulação do excedente de eletricidade gerado pelas destilarias dentro dos cenários de evolução tecnológica nos horizontes de 2015 e 2025 apresentados no Capítulo 6, foram consideradas duas variantes associadas à hipótese de produção, ou não, de bioetanol por hidrólise do bagaço. Diferentes configurações de sistema de cogeração foram simuladas baseando-se na disponibilidade de combustível (bagaço e palhico) e na introdução ou não da planta anexa de hidrólise.

As configurações de sistema de cogeração foram simuladas com o emprego de um *software* de simulação de sistemas de potência a vapor, desenvolvido em linguagem orientada para o objeto, utilizando como base o *software* comercial Delphi². O módulo “Potência” do programa de simulação permite a realização dos cálculos termodinâmicos da configuração definida pelo usuário. A Figura 3.2-3 reproduz a tela Fluxograma do programa. A configuração objeto de análise pode ser definida (i) nos modos de operação cogeração ou termoelétrico, (ii) com um ou dois níveis de pressão na geração de vapor, (iii) com emprego de turbinas de contra pressão ou de extração-condensação (até duas extrações de vapor podem ser consideradas), (iv) com eletrificação ou não da moagem e do preparo da cana, etc.

Quando da simulação dos sistemas de potência operando na situação em que há produção de bioetanol por hidrólise, foi considerado que não há recuperação de condensado correspondente à extração que ocorre a 37 bar. Nesse caso, tal situação é representada por um fluxo de vapor (ou de condensado) para a atmosfera na posição 45 do fluxograma apresentado na Figura 3-3.

2. Desenvolvido originalmente pelo Prof. Jorge Llagostera, da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Unicamp, no contexto de outro projeto de pesquisa.

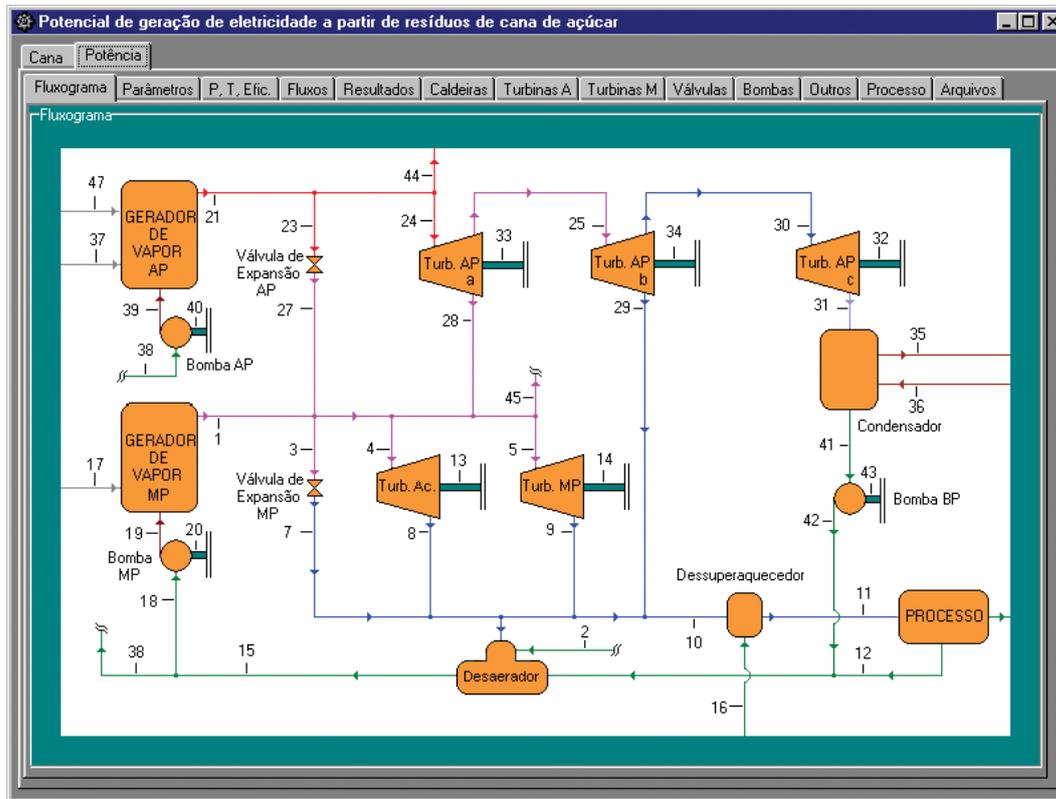


Figura 3-3: Tela do programa mostrando o fluxograma completo do sistema de cogeração

Na simulação das destilarias que não possuem planta de hidrólise (Configuração Otimizada) foi considerado que todo o combustível disponível na destilaria é destinado ao sistema de cogeração, maximizando a geração de excedente de eletricidade. Nas configurações com hidrólise, foram adotados sistemas de cogeração com turbinas de contra-pressão, operando somente durante a safra, fornecendo o máximo possível de bagaço para a planta de hidrólise anexa à destilaria sem comprometer a geração de vapor para o processo.

Em todos os casos, adotou-se que 10% do combustível são reservados para viabilizar as partidas do sistema, após as suas paradas, sendo o restante totalmente consumido na geração de vapor. Além disso, assumiu-se a utilização de motores elétricos para acionamento do sistema de extração do caldo, sendo, portanto, a demanda elétrica total da destilaria atendida pelo sistema de cogeração.

Alguns parâmetros adotados no procedimento de cálculo das configurações são apresentados a seguir:

- Pressão do vapor de processo: 2,5 bar;
- Temperatura do vapor de processo: 128°C;
- Pressão de operação do desaerador: 1,3 bar;
- Eficiência da caldeira: 85% (base PCI);
- Eficiência isentrópica da turbina a vapor: 78%;
- Eficiência isentrópica das bombas: 65%;
- Temperatura de retorno do condensado: 79°C;
- Perda de vapor no processo: 5% do vapor de processo;
- Vapor consumido no desaerador: 5% do vapor vivo gerado;
- Poder calorífico inferior do bagaço: 7.524 kJ/kg (50% umidade);
- Poder calorífico inferior do palhiço: 12.960 kJ/kg (15% umidade);
- Poder calorífico inferior da lignina: 16.219 kJ/kg (50% umidade);
- Produção total de bagaço: 140 kg/t cana (base seca);
- Produção total de palhiço: 140 kg/t cana (base seca);
- Produção de lignina: 200 kg/t bagaço hidrolisado (base seca).

3.2.5.1. Configuração Atual

A configuração Atual foi estimada como uma média da situação vigente para sistemas de cogeração do setor sucroalcooleiro, tendo sido adotada como referência na destilaria padrão. Foi considerado que o excedente de eletricidade para este caso seria de 40,0 kWh/t cana em uma destilaria com produção de 85 l/tc. Essa configuração representa uma situação ainda muito comum no setor sucroalcooleiro brasileiro e serve de referência para comparação com os avanços tecnológicos propostos para as demais configurações.

3.2.5.2. Configuração Otimizada

A configuração Otimizada representa destilarias sem planta de hidrólise anexa e com a melhor tecnologia de geração elétrica atualmente disponível para o setor sucroalcooleiro nacional, com geração de vapor a 90 bar e 520°C e geração de energia elétrica ao longo de todo o ano com emprego



de turbinas de extração-condensação. Embora tal hipótese seja conservadora do ponto de vista tecnológico, já que sistemas mais eficientes poderiam ser considerados em um horizonte de médio e longo prazo, é realista do ponto de vista do potencial que poderia ser viabilizado, desde que grande número de usinas adote tal configuração.

Esta configuração foi subdividida em Otimizada I, II e III, sendo prevista a introdução do palhiço como combustível auxiliar ao bagaço, visando à maximização da geração elétrica. Na Tabela 3.2-4 são apresentados alguns parâmetros adotados para essa configuração e o índice de geração de excedente elétrico calculado.

Tabela 3.2-4: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração “Otimizada”

| Configuração | Otimizada I | Otimizada II | Otimizada III |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Pressão do vapor vivo (bar) | 90 | 90 | 90 |
| Temperatura do vapor vivo (°C) | 520 | 520 | 520 |
| Consumo de vapor de processo ¹ (kg/t cana) | 385 | 444 ² | 455 ³ |
| Demanda elétrica do processo (kWh/t cana) | 12,0 | 12,0 | 12,0 |
| Demanda elétrica para acionamento do sistema de extração (kWh/t cana) | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| Demanda elétrica total (kWh/t cana) | 28,0 | 28,0 | 28,0 |
| Fração do bagaço consumido nas paradas do sistema (%) | 10 | 10 | 10 |
| Fração do bagaço consumido na cogeração (%) | 90 | 90 | 90 |
| Fração do total do palhiço consumida pelo sistema de cogeração (%) | 0 | 25 | 50 |
| Produção de bioetanol (l/t cana) | 88,3 | 88,3 | 88,3 |
| Eletricidade excedente gerada (kWh/t cana) | 87,8 | 121,3 | 160,2 |

¹ saturado a 2,5 bar de pressão

² Considera concentração de vinhoto com redução de 50% do volume inicialmente gerado.

³ Considera concentração de vinhoto com redução de 66% do volume inicialmente gerado.

3.2.5.3. Configuração “Hidrólise”

Foram simuladas destilarias nas quais a máxima quantidade de bagaço possível seria destinada à planta anexa de hidrólise, sem o comprometimento da geração de vapor de processo (processo tradicional + planta de hidrólise). Nesse caso também é considerada a geração de vapor com lignina, em complementação à geração de vapor com o palhiço disponível e a quantidade de bagaço requerida (não hidrolisado).

Os resultados para as configurações Hidrólise I e Hidrólise II, apresentados na Tabela 3.2-5, correspondem, respectivamente, a uma primeira etapa de desenvolvimento do processo de hidrólise (com rendimento mais baixo), que se estima que possa ser atingido em 2015, e uma segunda etapa de desenvolvimento a ser atingida em 2025, refletindo ganhos de produtividade em função do amadurecimento da tecnologia e otimização do processo.

Neste caso, a geração de energia elétrica é bastante reduzida em relação ao caso anterior, em função da menor disponibilidade de biomassa para geração de eletricidade, mesmo considerada a queima da lignina residual do processo de hidrólise.



Tabela 3.2-5: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração Hidrólise

| Configuração | Hidrólise I | Hidrólise II |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| Pressão do vapor vivo (bar) | 90 | 90 |
| Temperatura do vapor vivo (°C) | 520 | 520 |
| Consumo de vapor para o processo tradicional (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar) | 353 ¹ | 372 ² |
| Consumo de vapor de processo para a hidrólise (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar) | 131,2 | 146,1 |
| Consumo de vapor total do processo (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar) | 484,2 | 518,1 |
| Consumo de vapor de alta pressão para a hidrólise (kg/t cana) (extração a 37 bar) | 22,8 | 36,2 |
| Demanda elétrica no processo tradicional (kWh/t cana) | 12,0 | 12,0 |
| Demanda elétrica no processo de hidrólise (kWh/t cana) | 17,6 | 19,7 |
| Demanda elétrica para acionamento do sistema de extração (kWh/t cana) | 16,0 | 16,0 |
| Demanda elétrica total (kWh/t cana) | 45,6 | 47,7 |
| Fração do total de bagaço para hidrólise (%) | 47,5 | 76,0 |
| Fração do total de bagaço consumido em paradas do sistema (%) | 10 | 10 |
| Fração do total de bagaço destinada ao sistema de cogeração (%) | 52,5 | 24 |
| Fração do total do palhicho consumido pelo sistema de cogeração (%) | 25 | 50 |
| Produção de bioetanol (l/t cana) | 103,6 | 124,3 |
| Eletricidade excedente gerada (kWh/t cana) | 49,3 | 54,7 |

¹ Considera concentração de vinhoto com redução de 50% do volume inicialmente gerado.

² Considera concentração de vinhoto com redução de 66% do volume inicialmente gerado.

Foi considerado o emprego exclusivo de turbinas de extração contrapressão, com operação restrita ao período de safra, visando à maximização da produção de etanol. Considerou-se também que a produção de bioetanol por hidrólise ocorreria apenas durante o período da safra, hipótese que ainda precisa ser verificada quanto à sua viabilidade econômica. Adotou-se a mesma tecnologia de geração de vapor a 90 bar, 520°C, pois foi observado que no caso da hidrólise a geração de vapor a menor pressão e temperatura (i.e., 65 bar, 480°C) não resultaria vantagem significativa do ponto de vista da disponibilização de biomassa para hidrólise: comparando a geração de vapor a 65 bar, 480°C, com a alternativa de geração a 90 bar, 520°C, a disponibilidade de biomassa para hidrólise aumentaria pouco mais de 1%, enquanto a geração de energia elétrica seria sacrificada em quase 20% em relação à situação escolhida.

De acordo com os cenários previstos no Capítulo 6, a introdução de cada configuração segue a sequência apresentada na Tabela 3.2-6, na qual são apresentadas os perfis das destilarias que devem ser introduzidas em cada período de 5 anos entre 2005 e 2025.

Com relação à configuração Otimizada, assumiu-se que as destilarias com essa configuração teriam uma evolução da capacidade de geração ao longo do tempo, decorrente da introdução do palhicho como combustível auxiliar a partir de 2015. Por outro lado, teriam seu consumo de vapor de processo aumentado devido ao fato de concentrarem parte do vinhoto gerado, como indicado na Tabela 3.2-6. Assim, as destilarias com configuração Otimizada I, introduzidas no período 2005-2010 no cenário Prudente e entre 2005 e 2015 no cenário Progressivo, passariam a contar com configuração Otimizada II a partir de 2015, e com a configuração Otimizada III a partir de 2025.

Tabela 3.2-6: Introdução de cada configuração do sistema de cogeração segundo os cenários de evolução tecnológica

| Cenário | 5 Anos (2005-2010) | 10 Anos (2010-2015) | 15 Anos (2015-2020) | 20 Anos (2020-2025) |
|------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Sem Tecnologia | 100% Atual | 100% Atual | 100% Atual | 100% Atual |
| Prudente | 100% Otimizada I | 100% Otimizada I | 100% Hidrólise I | 100% Hidrólise I |
| Progressivo | 100% Otimizada I | 50 % Otimizada I 50% Hidrólise I | 100% Hidrólise I | 50 % Hidrólise I 50 % Hidrólise II |
| 100% Tecnológico | - | - | 100% Hidrólise II | 100% Hidrólise II |

3.2.6. Destilaria modelo

No módulo industrial deste estudo de ampliação da produção de bioetanol (2.000.000 de toneladas de cana por safra), foi dimensionada uma destilaria modelo que incorpora, de modo otimizado, as tecnologias de primeira geração mais atuais, procurando-se estimar o investimento total, assim como a incidência dos fatores envolvidos na formação do custo do etanol.

A unidade considerada é uma destilaria autônoma que produz bioetanol e energia elétrica para comercialização na rede. As melhorias incorporadas no modelo adotado são:



- Eliminação da lavagem de cana;
- Extração próxima a 98%;
- Tratamento de caldo específico para atender uma fermentação estável, sem contaminações, visando a uma remoção eficiente da matéria em suspensão;
- Pré-concentração de uma parte do caldo em cinco efeitos para operar com um mosto para fermentação com alto grau alcoólico no vinho final;
- Esterilização do mosto;
- Fermentação contínua em três estágios, com reciclo de fermento;
- Dupla centrifugação de fermento e tratamento do pé para alta porcentagem de viabilidade celular;
- Fermentação à temperatura abaixo de 34°C (28 - 32), vinho final acima de 12°GL (12 - 14) e rendimento fermentativo próximo de 92%;
- Destilação e retificação otimizada operando em coluna única e desidratação com peneiras moleculares;
- Automação completa da destilaria;
- Concentração do vinhoto em evaporadores de múltiplos efeitos a 50% do volume de vinhoto in natura;
- Máxima produção de energia elétrica, empregando, pré-secagem de bagaço, geração de vapor a 65 bar e turbogeradores de alta eficiência;
- Otimização energética das correntes de processo empregando tecnologia *pinch*.

A estimativa do custo dos equipamentos instalados (Tabela 3.2-7), que atinge um montante de R\$ 103 milhões, apresenta uma distribuição diferente daquela do módulo da destilaria convencional. O conjunto de geração de vapor em alta pressão e turbogeradores de alta eficiência respondem pelo maior custo, representando 32,7% do total em equipamentos instalados; a fermentação, agora incluindo pré-concentração do mosto, aumento das áreas de resfriamento, dupla centrifugação, dor-nas com agitação e reformuladas para controle da re-infecção e um tratamento do pé de cuba mais apurado, aumenta sua participação para 24,7%.

Na destilação, o emprego de peneiras moleculares e a concentração térmica do vinhoto também levam a aumentos expressivos na composição do investimento. Note-se que, necessariamente, a passagem para unidades de destilação em múltiplos efeitos provoca um novo incremento nos investimentos em equipamentos. A unidade de descarregamento, limpeza, preparo e extração, que na destilaria convencional representa o investimento mais expressivo, agora perde significação comparando com as outras seções da destilaria.

Tabela 3.2-7: Estimativa dos investimentos envolvidos em uma destilaria padrão otimizada (destilaria modelo)

| Destilaria padrão otimizada (destilaria modelo) | | |
|-------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| Equipamentos instalados | Investimento (R\$ milhão)* | Participação |
| Descarregamento, limpeza, preparo e extração | 17,4 | 16,9% |
| Tratamento do caldo e preparo do mosto | 9,3 | 9,0% |
| Fermentação alcoólica | 25,4 | 24,7% |
| Destilação retificação desidratação | 15,4 | 15,0% |
| Geração de vapor e energia elétrica | 33,7 | 32,7% |
| Outras utilidades | 1,8 | 1,7% |
| Total | 103,0 | 100,0% |
| Prédios e terrenos para o recinto industrial | 39,5 | |
| Outros | 35,6 | |
| Capital fixo | 178,1 | |
| Capital de trabalho | 26,7 | |
| Investimento total | 204,8 | |

* Valores referentes a 2006

O investimento total está dentro dos valores esperados, considerando que para uma usina com destilaria anexa, incluindo parte industrial (destilaria e fábrica de açúcar) e agrícola está estimado em R\$ 280 milhões, distribuídos em R\$ 205 milhões para a área industrial e R\$ 75 milhões para a área agrícola. Informações obtidas junto ao setor sucroalcooleiro sinalizam investimentos de US\$ 50,00 por tonelada de cana por ano, para implantação de novas usinas com destilaria anexa e o valor aqui estimado é de US\$ 49,20 por tonelada de cana por ano, exclusivamente para a área industrial de uma destilaria autônoma³. As estimativas anteriores foram realizadas para uma usina com destilaria anexa que envolve investimentos para a fábrica de açúcar, enquanto que o anteprojeto aqui analisado considera apenas uma destilaria que envolve investimentos menores, quando realizados segundo a tecnologia convencional. O aumento dos investimentos é atribuído ao custo das inovações tecnológicas incorporadas na fermentação, na destilação, concentração do vinhoto e na unidade de geração de vapor e energia elétrica.

³ Valores referentes a 2006.



Analisando a formação do custo anual para produção de bioetanol e energia elétrica (Tabela 3.2-8), nota-se a forte incidência do preço da matéria-prima. Os investimentos em equipamentos participam com aproximadamente 13% na formação do custo, o que, comparado com a matéria-prima, representa um fator de segunda ordem. Isto sinaliza que investimentos em equipamentos, cujo resultado se traduza em aumento da eficiência global de recuperação do açúcar redutor total contido na cana e transformação em etanol, seguramente têm um impacto positivo na taxa interna de retorno.

Tabela 3.2-8: Custo anual da produção de bioetanol e energia elétrica

| Item | Custo (R\$ milhão)* | Participação |
|-------------------------|---------------------|---------------|
| Custos fixos | 16,7 | 10,2% |
| Custo da cana-de-açúcar | 116,1 | 71,2% |
| Outros insumos | 2,0 | 1,2% |
| Equipamentos | 21,1 | 12,9% |
| Obras civis | 7,3 | 4,5% |
| Total | 163,2 | 100,0% |

* Valores referentes a 2006

Os custos fixos, que englobam diversos fatores, tais como mão de obra, custos administrativos, taxas e impostos e manutenção, também pesam comparativamente pouco na formação do custo, e se analisados separadamente, pode ser que a atuação sobre os mesmos não tenha grandes efeitos na redução do custo total. Pode-se concluir que a otimização do processo e redução de custos estão associados principalmente a:

- Riqueza em ART da cana (aumento do ART na matéria-prima se traduz em menor custo de processamento);
- Eficiência de recuperação do ART a bioetanol (mudanças nas etapas do processo e investimentos em equipamentos para melhorar a eficiência têm um impacto favorável na redução do custo).

Esta análise preliminar reforça as propostas de inovações tecnológicas, para os horizontes de 2015 e 2025, abordadas no item 3.2.4 desse capítulo. Considerando que as propostas estão orientadas fundamentalmente para ganhos de eficiência, a relação custo/benefício é favorável à implantação.

3.3. Fase industrial – 2ª geração

Neste item, apresentam-se os impactos das novas tecnologias de produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar, considerando as etapas realizadas na área industrial. Ênfase foi dada aos processos mais promissores para o aumento da produção: a hidrólise e, de forma complementar, a gaseificação. O estudo pretende abordar os aspectos mais relevantes, desenvolvidos em função das competências disponíveis; obviamente, o tema não se esgota com a análise apresentada. Pela própria multidisciplinaridade do setor, há espaço para a investigação de outras tendências tecnológicas. Tais estudos devem contemplar os núcleos de ciência e tecnologia relevantes ao setor sucroalcooleiro.

A seguir, os seguintes temas serão tratados com detalhe:

- O potencial do bagaço e do palhiço como matérias-primas para a produção de etanol;
- As bases da tecnologia DHR (Processo de hidrólise ácida diluída de matérias ligno-celulósicas), seus impactos positivos e a situação atual de seu estágio;
- As alternativas de pré-tratamento, hidrólise enzimática, fermentação do licor de hidrólise e produção de etanol.

3.3.1. Comparação das tecnologias avançadas em desenvolvimento no Brasil com outras semelhantes em desenvolvimento no exterior: hidrólise de bagaço para obtenção de etanol

A tecnologia de hidrólise enzimática IOGEN é discutida com maior detalhe por se tratar do único processo enzimático em estudo que se encontra em estágio de demonstração e que tem publicado, embora parcialmente, parte dos resultados obtidos até a data em que este trabalho foi realizado. O processo IOGEN aborda os fundamentos da conversão dos materiais celulósicos em açúcares fermentescíveis, bem como o processo integral de transformação de um resíduo ligno-celulósico em bioetanol.

A inserção da hidrólise no contexto do setor sucroalcooleiro consiste em integrar a planta produtora com a tecnologia de hidrólise com a destilaria padrão proposta neste estudo. É proposto um modelo para implantar a hidrólise em estágios (2015 e 2025), considerando, entre outros, os seguintes aspectos:



- As tecnologias disponíveis e seu grau de maturidade s nos marcos de 2015 e 2025;
- O potencial de geração de excedentes de bagaço e palhiço para hidrólise e produção de energia;
- O atendimento das necessidades de vapor e energia elétrica para operar a destilaria convencional de bioetanol e a hidrólise, bem como a geração de energia elétrica excedente para comercialização;
- A operação combinada dos processos de forma que a destilaria, provida de facilidades adicionais, realize a conversão dos licores de hidrólise em bioetanol associados aos processos de produção de bioetanol dos açúcares extraídos da cana;
- A operação de ambos os processos de forma sustentável, gerando o mínimo de efluentes, tratando-os a fim de evitar impactos ambientais negativos e racionalizando o uso de água.

3.3.1.1. Características da matéria-prima: bagaço e resíduos da colheita

O advento da cultura de cana para produção de bioetanol a partir dos açúcares extraíveis da cana (sacarose e açúcares redutores no caldo) vem gerando grandes excedentes de bagaço, com potencial de serem transformados em bioetanol e aumentar significativamente a oferta deste combustível, sem exigir um aumento proporcional das áreas de plantio. Nessa nova condição, o aproveitamento da cana é integral.

Com efeito, as matérias-primas de natureza ligno-celulósica remanescentes após corte, colheita e processamento de cana para obtenção de açúcar e etanol apresentam grande potencial para seu emprego na obtenção de bioetanol (futuramente outros produtos) através da hidrólise das mesmas a uma mistura de açúcares redutores e posterior fermentação e recuperação do bioetanol por destilação.

Uma análise das características das fontes de matéria ligno-celulósica remanescente do processamento da cana (bagaço e resíduos da colheita) é primordial para atingir uma tecnologia de hidrólise específica para o setor sucroalcooleiro. Atualmente, as usinas de açúcar e destilarias não recuperam os resíduos da colheita, que são em parte queimados ou empregados como cobertura do terreno e incinerado o excesso no campo.

3.3.1.1.1. *Bagaço de cana-de-açúcar*

O bagaço de cana-de-açúcar é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo (redução por meio de jogos de facas rotativas niveladoras e desfibramento através de jogos de martelos oscilantes) e extração do caldo de cana (por meio de ternos de moagem ou de difusores).

O bagaço não é uma biomassa homogênea, apresentando variações em sua composição, assim como na sua estrutura morfológica em função dos procedimentos de corte e de processamento industrial. No que diz respeito à sua composição, influem significativamente fatores como:

- A realização ou não das queimadas antes do corte;
- Os procedimentos de colheita e carregamento com maior ou menor arraste de terra, areia e resíduo vegetal, tais como corte manual, mecânico, cana picada, corte incluindo o ponteiro etc.;
- O tipo de solo onde a cana é cultivada (latossolos, solos arenosos, outros);
- Os diferentes procedimentos de limpeza da cana: a seco por revolvimento em mesas, limpeza com arrasto por corrente de água, limpeza pneumática. Influem também a geometria e outros detalhes construtivos das mesas de revolvimento, assim como a relação de volume de água aplicada por tonelada.

A Tabela 3.3-1 reproduz os resultados característicos segundo estudos conduzidos pelo ICICDA.

A fração de matéria mineral é, em sua maior parte, resultante de impurezas minerais arrastadas na cana (terra e areia); o restante pode ser computado como cinzas constitutivas da planta e metais ferrosos e pesados decorrentes do desgaste dos equipamentos de preparo e extração. A matéria mineral no bagaço pode oscilar entre 1,6% a 5,0%.



Tabela 3.3-1: Composição do bagaço e do palhiço de cana-de-açúcar

| Composição % (base seca) | Bagaço | Fibra | Medula | Palhiço |
|--------------------------|---------|-------|--------|---------|
| Celulose | 46,6 | 47,7 | 41,2 | 45,1 |
| Pentosanos | 25,2 | 25,0 | 26,0 | 25,6 |
| Lignina | 20,7 | 19,5 | 21,7 | 14,1 |
| Organossolúveis | 2 – 3 | | | 3,5 |
| Aquosolúveis | 2 – 3 | | | |
| Cinzas | 2 – 3 | | | 8 |
| Umidade | 48 – 52 | | | 9,7 |

Fonte: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar - ICIDCA (1999)

Na composição da biomassa de cana, existe um predomínio da holocelulose, seguido pela lignina. Empregando os dados típicos apresentados por diversos autores, é possível formular um bagaço padrão, como descrito na Tabela 3.3-2, com uma composição química que permite quantificar o potencial de aproveitamento do bagaço na hidrólise.

Tabela 3.3-2: Bagaço Padrão (composição calculada)

| Componentes | % |
|--------------------|-------|
| Glicose | 19,50 |
| Xilose | 10,50 |
| Arabinose | 1,50 |
| Galactose | 0,55 |
| Lignina | 9,91 |
| Organossolúveis | 2,70 |
| Açúcares redutores | 1,85 |
| Ácidos urónicos | 1,91 |
| Cinzas | 1,60 |
| Umidade | 50,00 |
| Hexoses totais | 20,04 |
| Pentoses totais | 12,00 |

3.3.1.1.2. Características das partículas presentes no bagaço e seu impacto nos processos de sacarificação

O bagaço não apresenta morfologia e tamanho de partículas uniformes, distinguindo-se uma fração esponjosa e outra de fibras com elevada relação de esbeltez. Existem diferenças significativas na densidade aparente apresentada por estas frações. Estudos mais recentes distinguem três frações características no bagaço: casca, fibra e medula.

A medula é formada por partículas esponjosas que apresentam uma forma relativamente regular e um fator comprimento/largura próximo a um, podendo ser aproximadas a esferas. A fração correspondente à casca é de tamanho bem maior, apresentando-se como lâminas grosseiramente retangulares. As fibras podem ser representadas como cilindros com um fator de esbeltez⁴ próximo

⁴ Fator de esbeltez: razão entre o comprimento e o diâmetro da fibra.



a 50, sendo assemelhadas a cilindros de comprimento infinito. O bagaço, assim como suas frações, apresenta baixas densidades aparentes.

Para a medula, indica-se uma densidade aparente⁵ de 220 kg/m³, enquanto que para as fibras 520 kg/m³ e para a casca 550 kg/m³. A densidade verdadeira⁶ do bagaço chega a um valor de 1470 kg/m³. Esses resultados confirmam as seguintes asserções:

- A porosidade dos componentes do bagaço é considerável e deve ser levada em conta em qualquer estudo de seu pré-tratamento e sacarificação, independente da sua natureza, considerando que as reações são heterogêneas envolvendo a interface sólido-fluido;
- A fração de medula apresenta uma densidade aparente de aproximadamente metade do valor da fibra. Isto leva a um aumento da relação massa de meio fluido para a massa de matéria ligno-celulósica durante pré-tratamentos e hidrólise, para manter o meio de reação fortemente agitado, que leva a um licor final mais diluído;
- Influência significativa no desempenho das reações químicas envolvidas na hidrólise, seja esta por catálise enzimática ou ácida, devido aos fenômenos de difusão de massa por meio da estrutura porosa. Também dificultará a separação das partículas mais finas não reagidas durante a hidrólise, que serão mais difíceis de separar através de diferenças de densidade;
- Significativa importância à morfologia das partículas de bagaço a efeitos de otimizar a hidrólise;
- A fibra e a medula apresentam diferenças na sua composição química, como observado na Tabela 3.3-1, sendo a primeira mais rica em celulose, que é o polímero preferencial na conversão hidrolítica. A medula apresenta proporções maiores de hemicelulose e lignina. Estas diferenças de composição apontam uma vantagem comparativa para a fibra em relação aos rendimentos da hidrólise.

5 Densidade aparente: depende da densidade absoluta de cada substância que compõe o material e também dos espaços vazios (poros) em seu interior.

6 Densidade verdadeira ou absoluta: É dada pela razão entre a massa e o volume ocupado pelos elementos que constituem o material. Deste modo, a contribuição do volume dos poros ou vazios internos deve ser desconsiderada na determinação da densidade absoluta.

3.3.1.1.3. *Palhiço de cana*

Os resíduos da colheita constituídos pelas folhas verdes, folhas secas e o ponteiro da cana constituem também uma fonte de matéria-prima ligno-celulósica. A composição aproximada deste resíduo para outras regiões canavieiras está descrita na bibliografia, porém não se dispõe de valores típicos característicos para o Brasil, que poderão diferir dos apresentados na Tabela 3.3-1, que se referem a dados de Cuba.

A composição do palhiço apresenta certa semelhança com o bagaço no que diz respeito à celulose e hemicelulose. Difere no conteúdo menor de lignina, que é aproximadamente 30% menor que o do bagaço ou as frações que o compõem, e num maior teor de cinzas.

Não estão disponíveis dados de forma e tamanho do palhiço, porém, um exame visual mostra grande heterogeneidade, explicável pelo fato de o palhiço provir de várias frações da planta e não ter sido submetido a um preparo.

Quanto ao potencial de palhiço disponível, segundo estudos feitos pelo CTC, dependendo dos procedimentos de colheita, é possível recuperar um teor de biomassa seca equivalente a 14% da massa de cana (caules colhidos) entregue à usina.

O potencial do palhiço como fonte para aumentar a oferta de biomassa ligno-celulósica, seja para processos hidrolíticos, seja como fonte de energia primária, justifica um estudo aprofundado para conhecer sua composição e propriedades físicas e químicas.

3.3.1.1.4. *Disponibilidade de bagaço e palhiço para os processos hidrolíticos*

A disponibilidade de bagaço está atrelada à eficiência energética da usina. Atualmente, o excedente de bagaço disponível para hidrólise ou outros usos se situa entre 7% a 10% do bagaço total, que é de aproximadamente 280 kg/tc (base úmida, com 50% de umidade). O restante do bagaço, obtido no processamento da cana, é empregado como combustível primário na geração de vapor e energia elétrica. Essa condição se dá em usinas com destilaria anexa e que operam ciclos de geração de vapor e energia com níveis de pressão de 21 bar.

Em destilarias autônomas, que são a base de produção considerada neste estudo, excedentes de bagaço da ordem de 50% do bagaço total podem ser atingidos pela otimização do sistema de pro-



dução de vapor e energia, operando com geração de vapor na pressão de 65-90 bar e empregando turbinas e geradores de alta eficiência.

Soma-se a isso uma estimativa obtida dos estudos realizados sobre recuperação de palhiço, que considera uma quantidade adicional de biomassa ligno-celulósica recuperável de 140 kg (base seca) por tonelada de cana e expresso em bagaço equivalente.

3.3.1.1.5. *Potencial de transformação do bagaço em açúcares redutores e etanol*

Para quantificar o potencial do bagaço para produção de bioetanol em função do avanço da tecnologia de hidrólise, estabeleceram-se cinco cenários que incorporam gradativamente aumentos da eficiência de conversão de hexoses e pentoses para hidrólise catalisada por ácidos diluídos e por enzimas, e a fermentação das pentoses a etanol. Para traçar estes cenários, empregaram-se os dados de performance das tecnologias de hidrólise publicados. Os cenários propostos são:

- 1 Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses, no estágio tecnológico atual;
- 2 Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e otimização da reação de hidrólise aos melhores valores atingidos, reportados na literatura;
- 3 Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e pentoses, com otimização da reação de hidrólise aos melhores valores atingidos, relatados na literatura;
- 4 Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses, no estágio atual da tecnologia;
- 5 Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses e pentoses, com a tecnologia otimizada.

Tomando como referência uma tonelada de bagaço *in natura*, o impacto da introdução dos processos hidrolíticos se faz evidente. Inicialmente, com uma tecnologia medianamente otimizada, se consegue uma produção de bioetanol de 69,1 litros. Como a otimização dos processos de sacarificação, pode-se atingir de 94,2 a 97,0 litros. Vencida a barreira da fermentação alcoólica das pentoses, será possível atingir de 132,2 a 149,3 litros por tonelada de bagaço. Os resultados dos diversos cenários são apresentados na Tabela 3.3-3.

Tabela 3.3-3: Potencial de transformação do bagaço em bioetanol (litros/tonelada de bagaço)

| Cenário | Conversões previstas | Etanol Hexoses | Etanol Pentoses | Etanol Total |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 1 | Hexoses: 60% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5% | 69,1 | 0 | 69,1 |
| 2 | Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 78,5% - fermentação: 0% Destilação: 99,75% | 94,2 | 0 | 94,2 |
| 3 | Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75% | 94,2 | 37,2 | 132,2 |
| 4 | Hexoses: 85% - fermentação: 89% Pentoses: 70% fermentação: 0% Destilação: 99,5% | 97 | 0 | 97 |
| 5 | Hexoses: 95% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75% | 111,4 | 37,9 | 149,3 |

3.3.1.2. Processo DHR - Processo de hidrólise ácida diluída de matérias ligno-celulósicas (bagaço e palhiço de cana-de-açúcar) em solvente aquo-orgânico para obtenção final de bioetanol combustível

O processo em desenvolvimento pela Dedini Indústrias de Base para realizar a transformação do material ligno-celulósico em seus carboidratos monômeros, baseia-se na dissolução da lignina em solvente aquo-orgânico para rompimento do arranjo fortemente cristalino da celulose, combinada com a hidrólise química de hemicelulose e celulose catalisada por ácido diluído.

Esse processo *organosolv* pode ser combinado a ambos os processos de hidrólise: aqueles catalisados por ácidos ou por enzimas. A Dedini prioriza a hidrólise ácida, por se tratar de uma tecnologia já testada industrialmente, embora em outras condições mais desfavoráveis que levaram a baixos rendimentos e elevado consumo energético. A flexibilidade deste processo permite integrá-lo a outras tecnologias:

- Pré-tratamento e hidrólise por ácidos simultânea (tecnologia em teste);
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise ácida;
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise enzimática.



O processo se caracteriza pelo emprego de um solvente aquo-orgânico que dissolve eficientemente a lignina, expondo a celulose a um ataque mais efetivo pelo ácido. Para demonstrá-lo, foi instalada uma unidade de desenvolvimento de processos (UDP) com capacidade de processar 2.000 kg/hora de bagaço (em torno de 5.000 litros por dia).

Numa combinação adequada de altas temperaturas e curto tempo de reação, consegue-se que a sacarificação ocorra rapidamente. Vários solventes foram testados, porém o baixo custo e a disponibilidade de bioetanol levaram à escolha de uma mistura de aproximadamente 75 % de bioetanol e 25% de água, que apresenta bom desempenho de dissolução. O processo foi testado inicialmente numa unidade de bancada (20 kg/h de bagaço), obtendo-se resultados animadores, que são mostrados no Quadro 3-1.

Quadro 3-1: Desempenho do processo DHR em escala piloto

| | |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Rendimento global máximo, em ART (açúcar reductor Total) | 54% |
| Rendimento após a estabilização em ART | 59% |
| Rendimento máximo de fermentação | 89% |
| ART máximo, não hidrolisado | 80 g/l |

Em decorrência dessa experiência, desenvolveu-se o projeto conceitual de uma instalação industrial anexa a uma usina de açúcar e etanol, viável economicamente, com amplo mercado, baixo risco comercial, embora ainda sujeito a elevados riscos tecnológicos. Por causa desses riscos, decidiu-se implantar a Unidade de Desenvolvimento de Processo (UDP).

É importante destacar que nesses estudos usaram-se bases conservadoras, utilizando os rendimentos de sacarificação obtidos na planta piloto somente com as hexoses, ou seja, considerando extrair apenas 100 litros de bioetanol por tonelada de bagaço.

Basicamente, os três parâmetros com maior influência no custo de produção são:

- Preço do bagaço;
- Rendimento etanol/bagaço;
- Custo do solvente.

3.3.1.2.1. Etapas do Processo DHR

A Figura 3-4 esquematiza a versão instalada do processo DHR, cujas etapas são descritas em sequência.

O bagaço requer operações físicas para remoção de matéria mineral inerte: terra, areia, partículas magnéticas, material estranho. Requer também a separação de frações por tamanho para melhor eficiência no pré-tratamento e na hidrólise.

O pré-tratamento do material e a hidrólise são realizados simultaneamente num reator contínuo. O resfriamento rápido do licor *organosolv* permite controlar as reações secundárias de decomposição das pentoses a furfural e das hexoses a 5-hidroximetilfurfural etc.

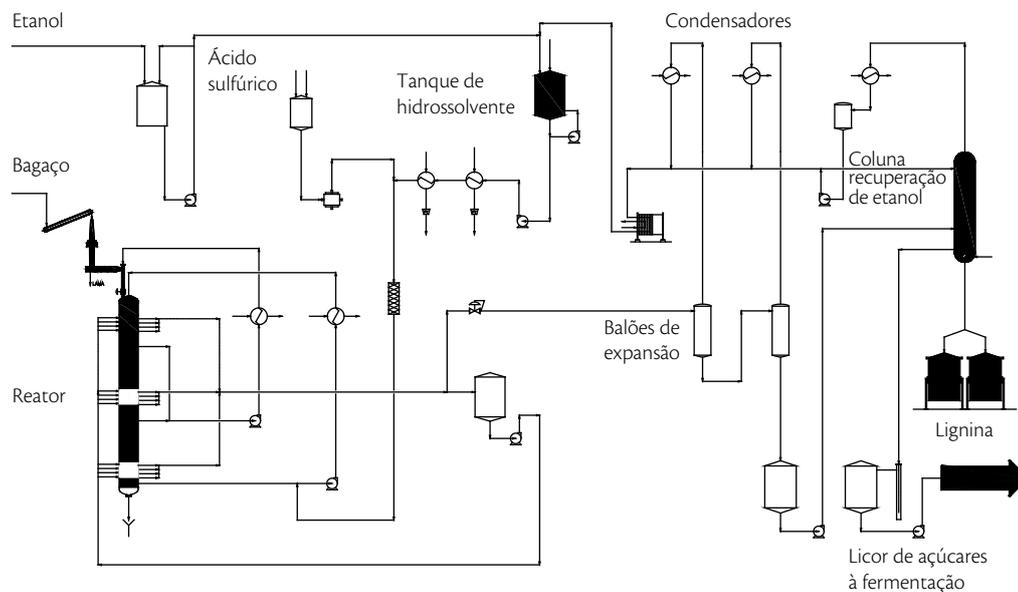


Figura 3-4: Fluxograma simplificado do processo DHR (DEDINI, 2006)



Uma destilação separa o bioetanol no topo, e este retorna ao processo. A lignina precipita à medida que a fase orgânica vai diminuindo seu teor em etanol, sendo recolhidos no fundo um licor de hidrólise com os açúcares e a lignina. A matéria em suspensão (predomina lignina) é removida do licor para não interferir na fermentação.

Nessa primeira versão do processo DHR, o licor de hidrólise é fermentado junto com o mosto de caldo, xarope e mel da usina, dispensando tratamentos de remoção de produtos secundários da hidrólise que inibem a fermentação.

3.3.1.2.2. *Dados Operacionais*

- Operação contínua por períodos acima de 24 horas;
- Alimentação de bagaço (umidade 50%): 850-2.000 kg/h;
- Vazão de solvente *organosolv* (60% etanol; 40% água (m/m): 5 m³/h);
- Pressão de operação no reator: 20 bar;
- Temperatura de reação: 180°C;
- Tempo de reação: 10-12 min;
- ART (hexoses, pentoses e outros redutores) segundo Somogi e Nelson: 1,5-2,5%;
- Rendimentos atingidos (até 2006): 55-60% (descontada a fração de bagaço não retida no reator).

3.3.1.2.3. *Resultados parciais atingidos na Unidade de Desenvolvimento de Processos (UDP)*

O projeto, a implantação e a operação da unidade têm permitido atingir resultados animadores, no que diz respeito à expectativa de atingir uma tecnologia comercial.

Foi atingida nesta primeira fase a demonstração de operação do processo, por meio do qual se consegue a hidrólise do material lignocelulósico em tempos muito mais curtos (maiores produtividades) comparados com os outros processos que já operaram ou aqueles que estão em estágio de desenvolvimento. A UDP operou de forma contínua, estável e em sintonia entre os diversos módulos que compõem o processo.

3.3.1.2.4. Metas a atingir na operação futura:

- Otimização da reação de hidrólise *organosolv* para atingir rendimentos de conversão de ART acima de 65% e otimização energética;
- Otimização da configuração de reator de hidrólise para máxima retenção de sólidos em suspensão, conversão de hexoses e minimização das reações de destruição das pentoses e hexoses geradas. Adequação dos equipamentos periféricos e dos processos envolvidos na UDP;
- Levantamento dos dados de processo para projeto de uma unidade industrial pioneira de 60.000 litros/dia;
- Desenvolvimento dos materiais de construção e soluções de projeto mecânico para os equipamentos, componentes, tubulações e acessórios da unidade, a fim de resolver problemas associados à corrosão, abrasão e operação com sólidos em suspensão e solvente hidroalcolílico a elevadas temperaturas e pressões;
- Estabelecer as condições operacionais para efetuar a fermentação alcoólica da fração de hexoses contida no licor hidrolítico misturada com mostos de cana-de-açúcar no curto prazo, e fermentação de licor hidrolítico como única fonte de carbono em médio prazo.

3.3.1.3. Processo IOGEN

A empresa IOGEN Corporation, localizada em Ottawa (Canadá), instalou a primeira unidade de demonstração de um processo de hidrólise catalisada por enzimas, com capacidade para produzir até 7.600 litros por dia de etanol. A projeção é ampliar este processo para uma unidade comercial de 45 milhões de litros por ano, assim que a tecnologia for demonstrada. As bases do processo são mostradas na Figura 3-5.

A matéria-prima de partida é a palha de trigo, que é um resíduo remanescente dessa cultura. Esse material ligno-celulósico passa por um processo de pré-tratamento para abrir a sua estrutura ligno-celulósica, lignificar o material, hidrolisar as pentoses e atingir uma catálise enzimática mais eficiente.

O processo IOGEN emprega a explosão com vapor (craqueamento), realizada a alta pressão, temperatura de 180-200°C e com adição de 0,5% a 2,0% de ácido sulfúrico (referido à biomassa seca). O tempo de tratamento varia entre 0,5 e 2,0 minutos, dependendo material ligno-celulósico a processar. O estágio de hidrólise da celulose é realizado empregando celulase produzida na própria IOGEN.

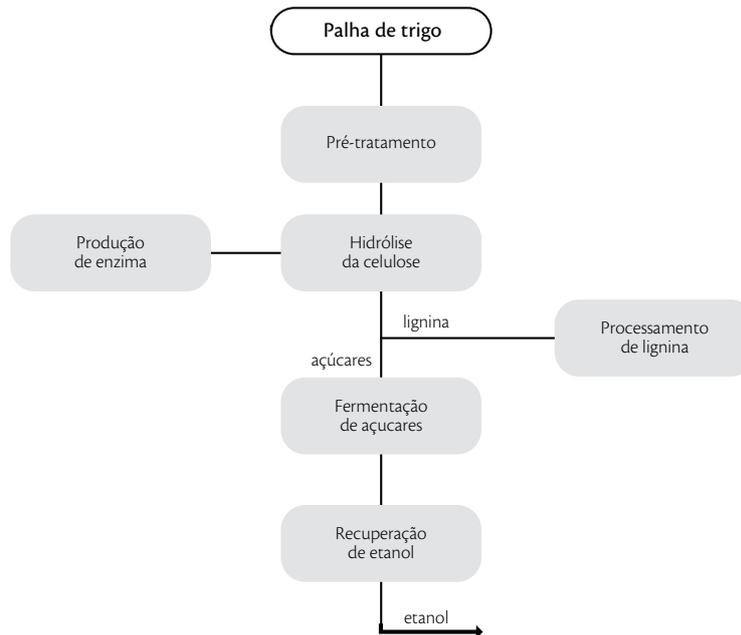


Figura 3-5: : Processo IOGEN

A biomassa pré-tratada, que se apresenta com consistência de pasta, é suspensa em água até um teor de 5% a 15% de sólidos totais. O pH é ajustado a 5,0 e a temperatura a 50°C. O reator de hidrólise (processo em batelada) tem uma capacidade útil de 750 m³. Como agente catalisador, empregam-se 100 litros de preparado de celulose bruto por tonelada de celulose a sacarificar.

A batelada é agitada nas condições de reação durante 120-170 horas, durante as quais a suspensão vai diminuindo sua consistência, atingindo-se de 90% a 98% de conversão da celulose e ficando praticamente apenas a lignina em suspensão. O licor remanescente no fim da reação contém glicose, galactose, xilose, arabinose e outros compostos solúveis. O resíduo insolúvel contém a lignina (predominante) e a fração de celulose sem reagir. O resíduo é removido do licor mediante operações físicas de filtração e lavagem.

O licor é submetido a uma fermentação alcoólica, feita em dornas agitadas. A IOGEN optou por empregar *Saccharomyces cerevisiae* como agente de fermentação, por se tratar de um organismo reconhecidamente eficiente para fermentação industrial de açúcares redutores (hexoses) a etanol. Segundo a IOGEN, as pentoses também serão fermentadas em uma etapa, empregando uma linhagem geneticamente modificada de *Saccharomyces cerevisiae* desenvolvida na Universidade de Pur-

due, capaz de metabolizá-las a etanol. O processo rende aproximadamente 283,5 litros de bioetanol por tonelada de palha de trigo (base seca).

A enzima celulase é produzida diretamente na IOGEN, que já tem tecnologia e equipamentos apropriados por ser um fabricante tradicional de enzimas industriais (principalmente amilases para sacarificação de grãos de cereais).

O processo de fabricação da celulase é por fermentação aeróbica submersa, empregando uma linhagem do fungo *Trichoderma*, que quando cultivado em presença de uma fonte de carbono, nitrogênio e fósforo, fatores de crescimento complexos como água de maceração do milho e sais, excreta um complexo de enzimas que constitui a celulase. Como fonte de carbono para multiplicação do micro-organismo, emprega-se a glicose, e para induzir a produção de enzimas, uma vez esgotada, adicionam-se celobiose, lactose ou oligômeros de glicose.

O processo é realizado em fermentadores com agitação e aeração, em condições assépticas a 30°C e pH 4-5. A fermentação se completa em aproximadamente 170 horas. O vinho final desta fermentação, depois de retirada a biomassa e sem outros tratamentos (apenas adição quando necessário de benzoato de sódio como preservativo para estocagem), é empregado na hidrólise do material ligno-celulósico.

3.3.1.3.1. *Informações complementares do Processo IOGEN, obtidas em entrevista com técnicos da empresa*

Complementando as informações publicadas sobre este processo, obtiveram-se algumas outras, relacionadas com o desempenho, o estado da arte e o grau de maturidade do processo IOGEN, desde o ponto de vista de chegar a se tornar uma tecnologia comercial. Essas informações foram obtidas durante uma visita técnica realizada à sede da IOGEN (VALENÇA, G.P., abril, 2006).

3.3.1.3.1.1. Pré-tratamento

O pré-tratamento adotado é a explosão com vapor, porém não como inicialmente descrito (processo IOTECH). A IOGEN utiliza impregnação com ácido sulfúrico diluído. Isto vem confirmar as conclusões já obtidas por outros, segundo as quais a explosão com vapor é de baixa eficiência e o material resultante é atacado apenas parcialmente pelas enzimas, não se obtendo os rendimentos esperados e sendo as taxas de conversão do material celulósico em açúcares redutores muito baixas.



Inicialmente, embora a quantidade de ácido provavelmente seja menor do que aquela que os processos catalisados por ácidos empregam, vem a enfraquecer o argumento de que a hidrólise ácida libera sulfatos e resíduos sólidos de gesso, em comparação com os processos enzimáticos que se posicionam como menos agressivos ao meio ambiente.

3.3.1.3.1.2. Sacarificação Enzimática

A reação é feita a pH 5,0 e 50°C, sendo que o tempo de sacarificação é de 96 horas, para atingir rendimentos de 99% de conversão. Com essa produtividade tão baixa, os volumes de reator são muito elevados, a quantidade de enzima a empregar é relativamente elevada e não pode ser reciclada no processo. Estes números são indicativos de que o processo não é viável no estágio atual da tecnologia. Também é importante levar em conta que a operação a pH 5,0 e 50°C irá levar à necessidade de reatores em aço inox 304.

3.3.1.3.1.3. Fermentação e destilação

A IOGEN informou que obtém um vinho final de 6°GL. Isto é indicativo da presença de inibidores semelhantes aos que se formam nos processos catalisados por ácidos (não se pode afirmar se quantitativamente maiores ou menores) e que se emprega o recurso de diluir o licor hidrolítico com mostos de outras matérias-primas, a fim de reduzir o impacto negativo dos inibidores. É muito provável que estejam fermentando o licor combinado com mosto de ART da fermentação de matérias-primas de cereais. E que, no momento, estejam descartando a fermentação das pentoses, pois não dispõem ainda de um micro-organismo capaz de fazer a transformação em nível de operação piloto.

3.3.1.3.1.4. Conclusões

Por enquanto, a IOGEN não tem um processo comercial para sacarificação enzimática e produção de bioetanol de resíduos ligno-celulósicos. A produtividade das enzimas é um dos pontos críticos que limitam a aplicabilidade desta tecnologia. Quanto a custos de produção, investimentos e participação das matérias-primas no custo, não se disponibilizaram as informações.

A IOGEN vem trabalhando ativamente no desenvolvimento deste processo, não apenas no desenvolvimento da enzima celulase, como também, de forma integrada, o pré-tratamento da matéria prima, a sacarificação, a fermentação e a recuperação de etanol, a integração com uma destilaria de

produção de álcool de cereais, o melhoramento da eficiência da celulase e o desenvolvimento de uma rota fermentativa para transformação das pentoses em etanol. Atualmente, a IOGEN conta com uma forte participação da PetroCanada e da Shell.

3.3.1.4. Comentários sobre o estágio tecnológico dos processos avaliados

O melhoramento do processo DHR vem registrando avanços no desenvolvimento de uma instalação industrial para sacarificar o bagaço, no que diz respeito a:

- Pré-tratamentos do bagaço;
- Alimentação forçada de bagaço;
- Materiais de construção;
- Abrasão e corrosão relacionadas às condições de hidrólise.

O ataque do material ligno-celulósico por meio de tecnologia *organosolv*, empregando uma mistura bioetanol com água, foi comprovado e se mostra eficiente, conferindo à reação tempos relativamente curtos. No caso de pré-tratamento com hidrólise ácida simultânea, este tempo de reação é de 5 a 10 minutos.

Também foi provada a operação contínua de todo o processo, incluindo pré-tratamento, sacarificação, recuperação do licor e do solvente e separação da lignina. Todavia, ainda não há a comprovação do rendimento, do balanço energético e da viabilidade econômica de produção de bioetanol por este processo.

Quanto ao processo IOGEN, também está sendo testado numa escala de demonstração, sendo que estágios como o pré-tratamento, a sacarificação enzimática e a produção da enzima foram demonstradas.

Os principais entraves continuam sendo:

- O elevado custo da enzima, devido à baixa produtividade da mesma, que pesa significativamente na formação do custo de produção de bioetanol pela hidrólise enzimática;
- O elevado consumo energético (vapor de processo e energia elétrica) associado ao processo.



Examinando as informações disponíveis, conclui-se que a IOGEN ainda não tem uma solução disponível para transformação das pentoses em etanol.

Os licores hidrolíticos finais apresentam um título muito baixo de ART, o que leva a um consumo energético elevado e a um aumento do volume de vinhaça gerado por litro de bioetanol produzido.

O rendimento declarado de 283,5 litros de bioetanol por tonelada de palha de trigo (base seca) é uma projeção ainda não atingida na prática.

A eficiência de conversão de hexoses pela via enzimática atende às expectativas, e o avanço desta tecnologia depende fundamentalmente de um aumento de produtividade do complexo de celulase.

Processos tais como a sacarificação e fermentação simultânea estão bastante longe de serem levados à prática industrial. A IOGEN descarta o emprego dos mesmos em curto prazo.

3.3.1.5. Outros Processos de hidrólise enzimática em estudo

Outros processos de hidrólise enzimática estão sendo estudados no mundo, porém, em menor escala. Os assuntos específicos que estão sendo tratados e cujos maiores ou menores avanços serão determinantes para atingir um processo comercial de hidrólise são:

- Determinação das propriedades físicas e químicas do material ligno-celulósico, a fim de otimizar os pré-tratamentos e a conversão a açúcares redutores;
- Pré-tratamentos do material ligno-celulósico a fim de desestruturar a matriz celulose-hemicelulose-lignina e acelerar a catálise enzimática, minimizando a geração de inibidores de fermentação e produtos que desativam a celulase;
- Produção de um complexo enzimático de alta produtividade de transformação da celulose em ART a baixo custo;
- Desenvolvimento de reatores para sacarificação e rotas de sacarificação separada ou associada à fermentação alcoólica;
- Processos de remoção de inibidores da fermentação alcoólica resultante do pré-tratamento do resíduo e fermentação do licor de hidrólise;
- Desenvolvimento da fermentação das pentoses a etanol;
- Otimização energética do processo de hidrólise.

3.3.1.6. Inserção da planta de hidrólise do bagaço anexa à destilaria para aumentar a produção de etanol

Estabeleceu-se um modelo para integrar a hidrólise de bagaço junto à destilaria padrão (12.000 toneladas de cana por dia de moagem), empregando os excedentes de bagaço como matéria-prima. O modelo considera a supressão do uso de queimadas no canavial, adotando-se o corte e a colheita mecanizada da cana, com a recuperação parcial do palhiço e resíduos de colheita, levando-se em consideração que para a data de introdução da hidrólise estas tecnologias estarão disponíveis.

Para a introdução da hidrólise comercial, fixaram-se dois marcos: 2015 e 2025. O primeiro refere-se a um cenário de introdução da hidrólise com uma primeira versão da tecnologia, que permite rendimentos de recuperação de açúcares redutores com valores intermediários. São aproveitadas unicamente as hexoses, por não se dispor ainda, nessa data, de uma tecnologia de fermentação de pentoses (demonstrada) que as transforme em etanol. Nesse cenário, a tecnologia empregada poderá ser tanto um processo ácido otimizado (hidrólise catalisada por ácidos diluídos em dois estágios e empregando reatores em contracorrente ou hidrólise ácida *organosolv*) quando hidrólise enzimática, correspondendo aos cenários [2] e [4] descritos na discussão anterior (subitem 3.3.1.1), referente ao potencial do bagaço para produção de etanol. No segundo marco (2025), o processo estaria otimizado a um grau que permitiria altas conversões de substrato, aproveitamento das pentoses e catálise enzimática. Esta condição corresponde ao cenário [5] exibido na Tabela 3.3-3.

O modelo em estudo considera uma unidade de hidrólise anexa à destilaria, que sacarifica o bagaço a um licor rico em ART, com a purificação e concentração deste licor. A fermentação, destilação e desidratação de bioetanol são realizadas na destilaria que produz bioetanol de açúcar de cana segundo o processo convencional.

Com o propósito de estabelecer as condições para operar a hidrólise, foi realizado um estudo preliminar, a fim de estabelecer a disponibilidade de bagaço e palhiço para operar o conjunto nas duas situações. A pesquisa envolveu, entre outros, os seguintes aspectos:

- Expectativas de recuperação de palhiço para os dois cenários;
- Demandas de vapor de processo para operação da fermentação, destilação, retificação, desidratação e concentração de vinhoto;
- Projeção das demandas de vapor de alta pressão no processo e para geração de energia elétrica;
- Maximização da produção de energia elétrica e da geração de excedentes de bagaço pela destilaria.



Os resultados obtidos, para ambas as situações, conduziram a optar por um processo de hidrólise que opera junto com a destilaria e unicamente durante a safra.

Sobre este modelo, realizaram-se os estudos relacionados à demanda de insumos, investimentos, custos de produção e outros. O trabalho realizado não se esgota aqui, sendo que ele abrirá espaço para um detalhamento maior, assim como para a necessidade de dimensionar e avaliar alternativas, como também confrontá-lo com outros alternativos futuramente.

Também com o objetivo de simplificar optou-se, em ambos os cenários, por dimensionar a hidrólise para um processo enzimático, permitindo-se compará-los (um estudo semelhante considerando a hidrólise ácida poderá ser realizado oportunamente), a fim de analisar, entre outros, os seguintes quesitos:

- Ganhos de escala;
- Geração de excedentes de bagaço;
- Aumento da eficiência de conversão de bagaço em etanol;
- Impacto dos avanços tecnológicos, tais como: diminuição do custo da enzima, introdução da fermentação das pentoses, operação com ciclos de geração de vapor e energia elétrica mais eficiente;
- Atendimento de expectativas de sustentabilidade ambiental, tais como: mínima captação de água para o processo e geração de efluentes.

3.3.1.6.1. Memorial descritivo sumarizado do processo proposto

A Figura 3-5 apresenta as etapas do processo de hidrólise proposto neste estudo e sua integração com a destilaria padrão, descrita no subitem 3.2.3. A tecnologia aqui empregada se fundamenta na proposta da IOGEN (atualmente em demonstração em unidade piloto), adaptada à nossa matéria-prima e ao *modus operandi* de uma destilaria de bioetanol de cana-de-açúcar. A tecnologia se baseia no pré-tratamento com vapor e ácido sulfúrico do material ligno-celulósico, sacarificação deste material pré-tratado em suspensão aquosa e usando um preparado enzimático bruto. O licor resultante da sacarificação é fermentado associado a mostos provenientes da sacarificação de amidos, e, em sequência, submetido à destilação, retificação e desidratação final.

O processo estabelecido para hidrólise de bagaço considera uma unidade de retirada deste material da destilaria, pátio de estocagem, equipamento de movimentação (do bagaço), limpeza para remoção de matéria mineral, classificação do em frações e transporte até o sistema de pré-tratamento. Na sequência, o bagaço sofre o processo de pré-tratamento num reator contínuo, onde é impregnado com ácido sulfúrico e submetido à ação do vapor de alta pressão (30 bar), que passa por posterior expansão espontânea⁷ (*steam-explosion*). O bagaço, após este pré-tratamento de deslignificação, é suspenso em água (aproximadamente a 5% de sólidos em suspensão); incorporado ao meio, o preparado de enzima celulase é sacarificado em reatores agitados em batelada, até a conversão de celulose em ART.

O licor, com aproximadamente 3% a 6% de ART fermentescível (inicialmente das hexoses), é tratado para remoção de matéria em suspensão, pré-concentrado e enviado à destilaria, onde é misturado com mosto resultante da concentração do caldo de cana. O mosto composto de açúcares da cana e açúcares provenientes da hidrólise é fermentado pelo processo convencional, destilado, retificado e desidratado. A Tabela 3.3-5 apresenta os parâmetros técnicos da planta proposta

7 Expansão isoentálpica

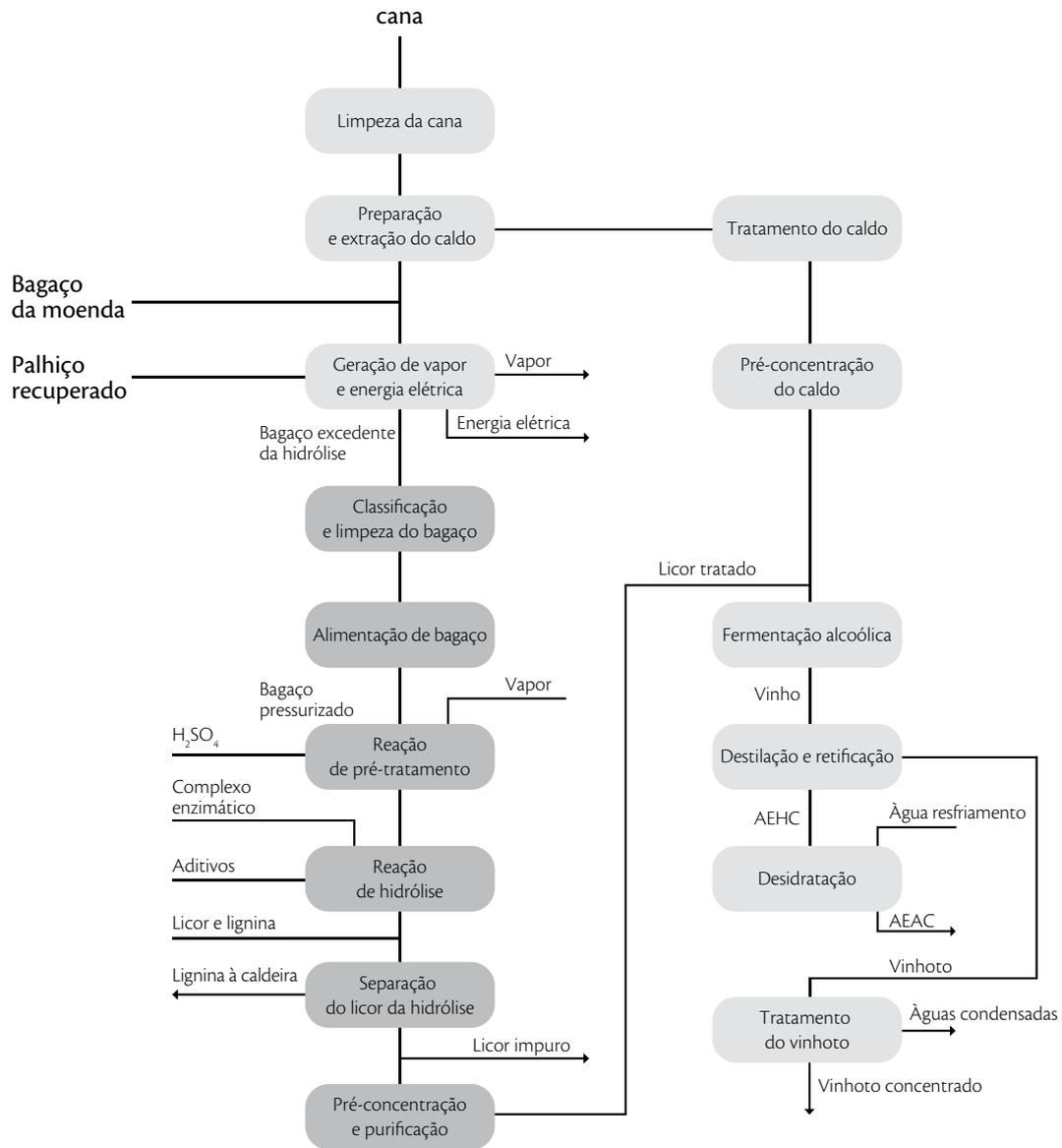


Figura 3-5: Processo de hidrólise anexo à destilaria padrão

Tabela 3.3-5: Parâmetros técnicos da hidrólise anexa à destilaria

| Item | 2015 | 2025 |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pré-tratamento | Explosão com vapor e adição de H ₂ SO ₄ | |
| Sacarificação enzimática | 48 horas de reação | 24 horas de reação |
| Licor final pré-concentrado para fermentação | 25% | 29% |
| Fermentação das pentoses | Não | Sim |
| Fermentação | Contínua ou batelada junto com o mosto da destilaria | |
| Destilação, retificação e desidratação | Destilação múltiplo efeito e peneiras moleculares | |
| Etanol produzido (m ³ /dia) | 151 | 381 |
| Concentração térmica do vinhoto em 6 estágios | 50% do volume inicial | 33% do volume inicial |
| Vinhoto final (m ³ /m ³ etanol) | 5 | 3 |
| Vinhoto final (m ³ /dia) | 730 | 1080 |
| Lignina produzida como bagaço equivalente (t/dia) | 685 | 1088 |

O vinhoto final, independente de se originar dos açúcares da cana ou da hidrólise, é concentrado termicamente para reduzir seu volume (a 50% no cenário de 2015, e a 33% em 2025). As águas condensadas resultantes da concentração do caldo e do licor são empregadas no estágio de sacarificação do bagaço, minimizando o consumo de água e a geração de efluentes líquidos.

A Tabela 3.3-6 apresenta os parâmetros operacionais do modelo proposto. Operando a hidrólise junto com a safra, é possível, por meio de um sistema de geração de vapor e produção de energia elétrica, criar o máximo de excedente de bagaço disponível na cana e do palhico recolhido para hidrólise, suprir a demanda de vapor de processo e gerar a energia elétrica necessária para operar a produção de bioetanol dos açúcares extraíveis da cana e daqueles produzidos a partir da hidrólise de bagaço. Ainda como apresentado na Figura 3.3-3, em ambos os cenários é gerada simultaneamente uma quantidade considerável de energia elétrica excedente para a rede.



Tabela 3.3-6: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria

| Item | 2015 | | 2025 | |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|
| Moagem total | 2.000.000 toneladas/safra | | 2.000.000 toneladas/safra | |
| Moagem diária | 12.000 toneladas de cana | | 12.000 toneladas de cana | |
| Dias de safra | 167 | | 167 | |
| Excedente de bagaço e palhiço com bagaço equivalente | 47,48% | | 76,03% | |
| Bagaço para hidrólise | 268.350 toneladas/safra | | 462.451 toneladas/safra | |
| Etanol do processo convencional (m ³ /safra) | 182.000 | 87,83% | 185.000 | 74,43% |
| Etanol da hidrólise (m ³ /safra) | 25.228 | 12,17% | 63.542 | 25,57% |
| Etanol total (m ³ /safra) | 207.228 | 100,00% | 248.542 | 100,00% |
| Vapor do processo (2,5 bar) destilaria (kg/tc) | 353 | 72,91% | 372 | 71,79% |
| Vapor de processo (2,5 bar) bioetanol de hidrólise (kg/tc) | 131 | 27,09% | 146 | 28,21% |
| Total (kg/tc) | 484 | 100,00% | 518 | 100,00% |
| Energia elétrica para a destilaria (kWh/tc) | 28 | 29,48% | 28 | 27,34% |
| Energia elétrica para a hidrólise (kWh/tc) | 17,65 | 18,58% | 19,68 | 19,22% |
| Excedente de energia elétrica (kWh/tc) | 49,34 | 51,94% | 54,71 | 53,43% |

3.3.1.6.2. Bases do Modelo

A unidade de hidrólise é fundamentalmente dedicada à produção do licor de açúcares redutores. As operações de concentração térmica, fermentação alcoólica, destilação, etc., são realizadas na destilaria convencional. Isto significa que o modelo proposto utiliza a tecnologia de sacarificação e fermentação em separado. Considera-se que esse modelo é o que mais se ajusta à condição de hidrólise associada a uma destilaria de bioetanol de cana-de-açúcar. Argumentos como o fato de ter sido provado em laboratório, empregar uma tecnologia de fermentação dominada no Brasil e se adaptar

com o mínimo de modificações e incorporações reforçam a consistência dessa opção. Em contraposição, existem as alternativas de sacarificação e fermentação simultânea e de micro-organismos que tem potencial de bio-sintetizar as enzimas sacarificantes e simultaneamente produzir etanol.

Essas tecnologias alternativas ao modelo proposto, no estágio de desenvolvimento atual e considerando as informações disponíveis sobre elas, não apresentam um grau de maturidade para serem inseridas, neste momento, nos cenários em estudo. Os processos simultâneos de hidrólise e fermentação são incompatíveis com a fermentação alcoólica convencional praticada em nossas destilarias. Os resultados apresentados pelos que defendem estas estratégias foram obtidos unicamente em laboratório e são preliminares, não havendo informações complementares de balanços de massa e energia e de parâmetros de desempenho.

A unidade de hidrólise aqui proposta não dispõe de um parque de utilidades (vapor, energia elétrica, águas e efluentes), pois estas são providenciadas pela destilaria padrão. Também não produz a enzima celulase por uma questão de escala inadequada, admitindo-se que adquire este preparado bruto de uma unidade autônoma localizada estrategicamente, que produz a celulase para várias unidades de hidrólise. A celulase é produzida por fermentação aeróbica, seguindo o protocolo básico de produção descrito pela IOGEN, obtendo-a após os estágios de separação e remoção de material em suspensão, um preparado que contém a enzima e um conservante, para uso direto na etapa de sacarificação.

Na apuração de custos, o vapor e a energia elétrica necessários para atender a unidade de hidrólise, que são providenciados pela destilaria, são computados aos valores de mercado (R\$ 10,00 a tonelada de vapor e R\$ 120,00 o MWh de eletricidade), como proposto pelo CTC.

O investimento adicional da evaporação de caldo, assim como seus os custos operacionais, são atribuídos à unidade de hidrólise, pois os mesmos são decorrentes da necessidade de adequar o licor de hidrólise às condições necessárias para serem incorporados no processo de produção de bioetanol da destilaria. O aumento de capacidade da fermentação, destilação, retificação, desidratação, tratamento do vinhoto e estocagem de bioetanol são levados em conta na apuração dos investimentos da unidade de hidrólise.

3.3.1.6.3. Custos e investimentos associados à produção de bioetanol de bagaço

A Tabela 3.3-7 apresenta o custo dos insumos, os investimentos e a formação do custo do bioetanol de bagaço para os cenários de 2015 e 2025, respectivamente.



Examinando-se os valores estimados para o modelo proposto, nota-se uma forte influência do montante de investimentos na formação de custo de processamento de bagaço. A importância desses custos diminui assim que aumenta o fator de escala, quando se passa da capacidade prevista em 2015 para 2025.

Quanto a estes investimentos, os equipamentos compõem a maior parte do montante, sendo que os relacionados à unidade de sacarificação são os que mais pesam (80%), e deverão ser examinados e aprimorados sistematicamente a fim de incorporar inovações tecnológicas que impliquem redução dos valores envolvidos.

O impacto da melhoria de tecnologia que se traduzir em ganhos de produtividade, por exemplo, o desenvolvimento de enzimas mais produtivas ou um processo de pré-tratamento do bagaço mais eficiente, incidirão fortemente na redução dos custos. O aumento dos valores dos investimentos envolvidos, quando se passa de 2015 a 2025, é pouco significativo (7,3%), mas o ganho no processamento do bagaço (59,0%) explica boa parte da redução do custo de produção do bioetanol em 52,9%, mostrando a importância dos ganhos de produtividade decorrentes da redução do tempo de reação (Tabela 3.3-7).

Tabela 3.3-7: Custo de produção do bioetanol de hidrólise

| Item | 2015 | | 2025 | |
|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| Valor do bagaço | R\$ 17,20 por tonelada | | R\$ 17,20 por tonelada | |
| Processamento do bagaço | 268 mil toneladas/ano | | 426 mil toneladas/ano | |
| Estimativa dos Investimentos envolvidos | R\$ 124 milhões | | R\$ 133 milhões | |
| Item | Valor unitário (R\$/t bagaço) | Participação (%) | Valor unitário (R\$/t bagaço) | Participação (%) |
| Obras civis | 0,48 | 0,33 | 0,50 | 0,47 |
| Equipamentos | 80,69 | 56,10 | 52,45 | 49,00 |
| Mão de obra | 4,22 | 2,93 | 2,65 | 2,47 |
| Insumos | 50,97 | 35,44 | 46,26 | 43,22 |
| Outros | 7,47 | 5,20 | 5,18 | 4,84 |
| Custos de processamento do bagaço | R\$ 143,83/tonelada | | R\$ 107,04/tonelada | |
| Custo de produção do etanol | R\$ 1,53/litro | | R\$ 0,72/litro | |

A formação do custo do bioetanol indica uma forte contribuição dos investimentos em capital fixo, sendo esta bem maior que nos estudos de custos apresentados por outros autores.

O motivo da forte incidência se deve ao fato da unidade operar unicamente durante a safra (167 dias), enquanto que as estimativas técnico-econômicas apresentadas na bibliografia são todas operando 330 dias. A necessidade de operar apenas 167 dias é decorrente de gerar maior excedente de bagaço e gerar simultaneamente o máximo de energia elétrica. Também estas estimativas empregam escalas de produção bem maiores que as propostas nesse modelo. Considerando que este modelo está fundamentado numa destilaria otimizada para um raio de transporte de cana, em princípio parece difícil justificar escalas maiores em termos de transporte de cana e recolhimento de palhiço.

A formação do custo foi traçada num preço base de R\$ 17,20 para a tonelada de bagaço; este fator incide significativamente no custo dos insumos. Este valor conservador parece representativo, considerando que não estão ainda disponíveis estimativas confiáveis para o custo do palhiço colocado na usina.

No modelo proposto, admitiu-se a compra da energia elétrica e o vapor de processo da usina. Novamente, o custo da energia elétrica pesa fortemente na formação do custo do etanol; os valores aqui atribuídos poderão ser reajustados quando se dispuser de dados mais representativos das operações de venda da energia elétrica gerada pelas destilarias.

Para o preparado de celulase, foi empregado o valor utilizado nos estudos realizados pelo NREL-USA, por não se dispor, ainda, de dados do custo de produção deste insumo no Brasil.

Examinando o custo de produção de etanol, o cenário de 2025 se mostra altamente favorável; o de 2015, embora num exame preliminar possa se apresentar desfavorável, deve-se considerar a forte incidência do valor dos insumos, bagaço e energia elétrica e o fato de que uma análise de viabilidade econômica tem que levar em conta a receita obtida da venda dos três produtos: bioetanol dos açúcares de cana, bioetanol da hidrólise e energia elétrica para a rede.

A oferta adicional de bioetanol de 14% em 2015 e 34% em 2025 é muito representativa e positiva, considerando as metas do estudo realizado: aumento da produção de etanol, melhor aproveitamento da biomassa de cana e da área cultivada.



3.3.2. Avaliação das tecnologias avançadas de geração de energia tipo gaseificação/turbina a gás – Gaseificação da biomassa e uso do palhiço

Sistemas energéticos de pequena capacidade baseados na gasificação de biomassa são comerciais, mas dentro de condições específicas, ou seja, não há viabilidade econômica irrestrita para eles. Quanto às aplicações, o gás de gaseificação da biomassa é utilizado no acionamento de motores de combustão interna de pequena capacidade, em sistemas de cogeração, ou em sistemas de combustão combinada (e.g., com carvão mineral) (BABU e HOFBAUER, 2004).

Por outro lado, a gaseificação da biomassa pode viabilizar tanto a produção de combustíveis líquidos, principalmente para usos automotivos, quanto a geração de eletricidade em larga escala. Porém, nenhuma dessas alternativas está próxima de se tornar economicamente viável, e considerável esforço de PD&D, bem como a definição de políticas de fomento adequadas, são necessários.

Parte do desenvolvimento tecnológico necessário poderá vir dos esforços que já foram feitos quanto ao uso dos energéticos fósseis, como no caso da gaseificação do carvão mineral e do processo Fischer-Tropsch (FT) a partir de gás natural. E, no mesmo sentido, avanços tecnológicos relativos ao uso da biomassa poderão ser alcançados em sistemas de co-gaseificação (carvão mineral + biomassa) e co-firing (gás natural + gás de gaseificação).

No momento, quase todos os processos de gaseificação já desenvolvidos, ou em fase avançada de desenvolvimento, têm ou visam mercados em aplicações específicas, dependendo dos custos e da disponibilidade da biomassa, da capacidade e da relação calor/potência desejada (OPET, 2002). Sistemas energéticos baseados em biomassa tendem a ter maior viabilidade em nichos de mercado em que biomassa residual existe a baixo custo (e.g., resíduos da cana-de-açúcar, resíduos de indústrias de papel e celulose e de beneficiadoras de madeira e resíduos agrícolas). Outro aspecto importante para a viabilização dos futuros sistemas energéticos a partir da biomassa é a integração dos processos, bem como a produção de vários produtos. O conceito de biorrefinarias é o que deve imperar no médio e longo prazos. Assim, uma unidade produtora de combustíveis líquidos, por exemplo, deve ser também uma termoelétrica de significativa capacidade.

Entre as tecnologias termoelétricas, a de maior rendimento térmico é a dos ciclos combinados, baseados em turbinas a gás. Para que tal tecnologia possa ser usada com emprego de combustíveis sólidos, como é o caso da biomassa residual da cana-de-açúcar, propõe-se a prévia gaseificação do combustível e a queima do gás resultante em turbinas a gás. Os sistemas que se baseiam na gaseificação de carvão mineral e de óleos muito viscosos são conhecidos como IGCC (Integrated Gasification to Combined Cycles), sendo que em todo o mundo existem cerca de 20 plantas em operação. Já a versão em que

se emprega biomassa é conhecida pela sigla BIG-CC (*Biomass Integrated Gasification to Combined Cycles*), e apenas uma instalação foi construída e operou por um período razoável.

Em relação às instalações de potência baseadas em ciclos a vapor, que é a tecnologia convencional, os sistemas BIG-CC de capacidade entre 30 e 50 MW poderiam ter eficiência de produção de eletricidade da ordem de 30% a 40% no curto prazo, e de até 45% a médio-longo prazo (FAAII et al., 1998). Um ciclo a vapor de tal capacidade tem eficiência térmica na faixa de 20% a 25%. Uma vantagem adicional pode advir dos menores efeitos de escala sobre os custos de capital de instalações baseadas em turbinas a gás, o que pode resultar em menores custos unitários (\$/kW instalado) para instalações de pequena ou média capacidade (WILLIAMS e LARSON, 1993). Entretanto, certo número de instalações ainda precisa ser construído para que os efeitos de aprendizado induzam significativa redução dos investimentos que, no presente, são estimados entre 2.500 e 4.000 €/kW instalado para plantas com capacidade na faixa de 5 a 30 MW líquidos (WALDHEIM, 2005). Nesses sistemas, a energia de baixa temperatura dos gases de exaustão da caldeira de recuperação de calor (HRSG) deve ser empregada na secagem da biomassa, melhorando a integração térmica do sistema (FAAII et al., 1998). A secagem da biomassa é necessária, pois, caso contrário, o poder calorífico do gás combustível seria muito baixo, prejudicando ou até mesmo impossibilitando sua combustão na turbina a gás.

Nos últimos anos, após a suspensão de alguns projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC, em função dos altos custos iniciais e da forte competição existente no setor elétrico em todo o mundo, vários grupos de pesquisa têm priorizado o desenvolvimento da tecnologia de gaseificação da biomassa para produção de combustíveis líquidos. No médio e longo prazos, os desenvolvimentos alcançados na gaseificação da biomassa e na limpeza dos gases também serão aproveitados na tecnologia BIG-CC.

3.3.2.1. A tecnologia BIG-CC

Na Figura 3-6 mostra-se a representação esquemática de um sistema BIG-CC. Na figura, a limpeza do gás é mostrada sem identificação da alternativa de limpeza (se a baixa ou a alta temperatura). Tampouco é representada a eventual compressão do gás combustível antes de sua injeção na turbina a gás. No caso da limpeza a baixa temperatura, é preciso que processos de recuperação de calor sejam introduzidos para que a eficiência global do sistema não seja comprometida; a energia recuperada dos gases durante o resfriamento pode ser utilizada, por exemplo, no aquecimento do gás limpo que é injetado na turbina a gás. No caso da gaseificação a baixa pressão e da limpeza dos gases a baixa temperatura, é preciso comprimir o gás combustível para que o mesmo possa ser injetado na câmara de combustão; a potência requerida em tal processo tende a ser muito significativa em relação à potência gerada.

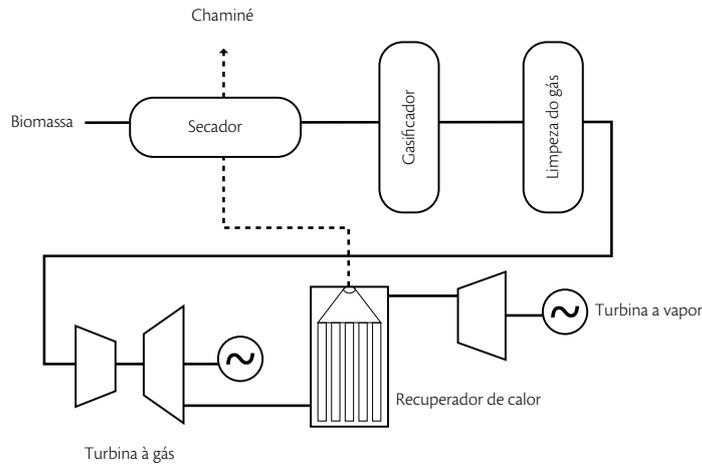


Figura 3-6: Representação esquemática de um sistema BIG-CC

Cada tipo de biomassa requer uma dada sequência de tratamento, mas, de forma geral, o pré-tratamento envolve seleção, trituração, separação magnética, estocagem úmida, desinfecção (se necessária), secagem e estocagem seca para que, então, a biomassa siga para a gaseificação.

Após a gaseificação, o gás produzido segue para o sistema de limpeza, que consiste no craqueamento/remoção de alcatrão, resfriamento, filtragem e lavagem, e, se necessária, uma etapa de absorção de amônia (NH_3) e/ou ácido sulfídrico (H_2S). As etapas de absorção são cruciais, dadas as restrições impostas pelas turbinas a gás e recuperadores de calor com relação aos níveis de particulados, álcalis e alcatrão, além, evidentemente, da necessidade de serem atendidos os padrões de emissão. Uma possibilidade para a remoção/craqueamento do alcatrão é a via catalítica, mediante a adição de dolomita (catalisador) no leito do gasificador, ou mesmo em um reator específico, como é caso da tecnologia da empresa sueca TPS (Thermiska Processor). Após a etapa de craqueamento, o gás passa por ciclones para a retirada de material particulado e, em seguida, é resfriado (até aproximadamente 180°C) e filtrado. A temperaturas dessa ordem, os álcalis, outros metais pesados e hidrocarbonetos são condensados sobre partículas, que são retidas em filtros. No caso da lavagem dos gases, há novo resfriamento. Vapor d'água e outros contaminantes, como NH_3 , HCl e hidrocarbonetos condensam e são dissolvidos pela água de lavagem que, por sua vez, deve ser encaminhada a uma estação de tratamento antes de ser descartada. Caso as concentrações de nitrogênio e H_2S do combustível sejam muito altas, há necessidade do gás passar por unidades específicas de absorção, já que a simples lavagem (com água) não produz resultados satisfatórios (FAAI et al., 1998).

Uma vez limpo, o gás segue para a câmara de combustão da turbina após sua compressão. No uso do gás em turbinas, três questões são importantes: (i) estabilidade da combustão, (ii) perda de pres-

são no sistema de injeção de combustível e (iii) os limites de fluxo de massa pela turbina. No caso das turbinas a gás projetadas para operar com gás natural e adaptadas para operação com gases de baixo poder calorífico⁸, o fluxo dos gases na câmara de combustão e no expansor será muito elevado em relação à situação de referência. Enquanto o gás natural concentra poder calorífico da ordem de 35-40 MJ/Nm³, os gases derivados da gaseificação da biomassa concentram poder calorífico em torno de 5-6 MJ/Nm³. Para que a turbina possa operar com a mesma temperatura máxima, ou próxima disso, o fluxo de gases de combustão será muito elevado, ocasionando esforços sobre componentes do expansor e alterando significativamente o ponto de operação do compressor (CONSONNI e LARSON, 1996; FAAIJ et al., 1998). Para que a turbina não seja levada a condições de operação que poderiam resultar na sua rápida deterioração, recursos de controle precisam ser empregados. O mais simples deles, o *de-rating*⁹ da turbina a gás, implica redução das condições de desempenho da máquina.

Por fim, os gases de exaustão da turbina a gás passam por uma HRSG. Vapor gerado é levado à expansão em uma turbina a vapor, aumentando a geração de eletricidade e a eficiência térmica do sistema. Os gases de exaustão da HRSG, desde que tenham temperatura suficiente, são então destinados à secagem da biomassa.

3.3.2.2. Projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC

Nos últimos 15 anos tem havido certo esforço de pesquisa e desenvolvimento relativo à tecnologia BIG-CC. Vários projetos foram considerados nesse período, mas apenas uma instalação foi efetivamente construída e operou por tempo significativo, em Värnamo, Suécia¹⁰.

Na Tabela 3.3-8 são apresentados os projetos mais importantes, cuja viabilização foi considerada nos últimos anos; nenhum deles, entretanto, avançou a ponto de suas instalações terem sido concluídas.

8 O que será o caso até que, eventualmente, a tecnologia BIG-CC seja empregada em larga escala.

9 Corresponde à redução da temperatura máxima de operação da turbina, resultando menor fluxo de gases e, conseqüentemente, menor elevação da relação de pressões no compressor.

10 A unidade de gaseificação tinha capacidade de processamento de 82 toneladas por dia e usava filtros cerâmicos para a limpeza do gás a quente. A capacidade de geração elétrica do ciclo combinado era de 4 MW_e gerados a partir de uma turbina a gás da série Typhoon, mais 2 MW_e gerados em ciclo a vapor. Também eram produzidos 9 MW_{th} de água quente, empregados em aquecimento distrital. O gaseificador começou a ser operado em 1993 e no outono de 1995 teve início sua operação integrada com a turbina a gás. A instalação foi descomissionada em 1999 e no presente está sendo adaptada no âmbito do projeto Clean Hydrogen-Rich Gas from biomass (Chrisgas). O objetivo do projeto é produzir gás de síntese rico em hidrogênio que possa ser empregado na produção de metanol, DME e FT diesel. As metas são alcançar a produção de 3.500 Nm³/h de gás úmido e operar a instalação durante ao menos 2.000 horas. Após a adaptação, o gaseificador irá operar com injeção de oxigênio ou vapor, com limpeza dos gases a quente. O projeto será executado em cinco anos, tendo começado em 2004; os testes devem começar em 2008. O orçamento declarado é de € 15,6 milhões. Do projeto participam 10 empresas industriais, 4 universidades e 3 organizações de pesquisa, de oito países europeus. A coordenação do projeto é da Växjö University, da Suécia (para mais informações, consulte www.chrisgas.com).



Um dos projetos, inclusive, deveria ter sido viabilizado no Brasil. Inicialmente, a proposta era a construção de um sistema BIG-CC de 32 MWe, no interior da Bahia, com uso de madeira de eucalipto. A instalação seria baseada na tecnologia de gaseificação a pressão atmosférica da TPS. A construção sequer começou e tampouco existem perspectivas de que isso venha a ocorrer no curto e médio prazo. Uma alternativa possível, embora ainda bastante improvável, tem sido explorada desde 1997, quando o Centro de Tecnologia da Copersucar (hoje, Centro de Tecnologia Canavieira) começou um projeto com vistas a avaliar os sistemas BIG-CC operando com biomassa da cana-de-açúcar. Esse trabalho foi conduzido em parceria com a TPS, que realizou testes de gaseificação com bagaço e pontas e folhas da cana. Também foram avaliados aspectos técnicos e econômicos associados à integração de um sistema BIG-CC com uma usina de açúcar e etanol. No momento, tem sido considerada a possibilidade de construção de uma unidade de demonstração em uma usina de açúcar e etanol, com integração parcial, ou seja, a capacidade da unidade BIG-CC seria menor do que a possível, em função do porte da usina (HASSUANI *et al.*, 2005).

Tabela 3.3-8: Principais projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC

| Localização | Ano | Tecnologia | Biomassa | Capacidade |
|----------------------------|------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Värnamo, Suécia | 1993 | Foster Wheeler CFB pressurizada | Madeira | 6 MW _e |
| Burlington, Vermont, EUA | 1998 | BCL aquecimento indireto | Madeira | (alimentação: 200 t/dia) |
| Planta Fondotoce, Alemanha | 1999 | ThermoSelect | Resíduo sólido urbano | 12,5 MW |
| ARBRE, North Yorkshire, RU | 2000 | TPS | Madeira | 8 MW _e |
| Bahia, Brasil | (?) | TPS | Madeira | 30 MW _e |

Fontes: Gasifiers Inventory (2006), Hassuani *et al.*, (2005)

Os projetos considerados nos últimos anos falharam pelo alto risco associado, em função (i) dos altos custos, o que é típico das primeiras unidades de projetos de demonstração, e (ii) pela grande competitividade existente no setor elétrico, em todo o mundo. Quanto ao último aspecto, o que ocorre é que as empresas elétricas não têm interesse de investir em projetos de demonstração que têm, também, de operar comercialmente. Ao que se sabe, esse foi o principal problema para a não operação comercial da unidade em Värnamo após a superação dos problemas técnicos. As frequentes alterações de propriedade de empresas de alta tecnologia também têm dificultado a continuidade dos projetos de PD&D, pois quando da mudança de controle acionário alguns projetos

simplesmente deixam de ser prioridade. Essa foi, também ao que se sabe, a principal razão para o cancelamento da construção da unidade BIG-CC em Burlington, EUA.

Entre os projetos BIG-CC propostos havia três variantes, sendo as diferenças associadas ao conceito do gaseificador. Uma vertente se baseia na tecnologia leito fluidizado circulante (CFB), com operação do gaseificador à pressão atmosférica e com injeção de ar para fornecimento do oxigênio necessário. Uma empresa que se destaca no desenvolvimento dessa tecnologia é a sueca TPS, anteriormente mencionada, que, no caso dos sistemas BIG-CC, propõe a inserção de um reator imediatamente a jusante do gaseificador para o craqueamento do alcatrão. A segunda variante baseia-se em um gaseificador com aquecimento indireto e que opera a pressões próximas da atmosférica. Nesse caso, o projeto de maior destaque relativo à gaseificação é o do *Battelle Memorial Laboratory* (BCL, EUA), no qual se usa areia para viabilizar o aquecimento da matéria orgânica. A terceira variante também envolve a tecnologia de gaseificação CFB, mas com operação a altas pressões (20-30 bar, 900-1.000°C). A *Foster Wheeler* (EUA) e a *Carbona* (Finlândia) são empresas que obtiveram destaque com esta tecnologia (CONSONNI E LARSON, 1996; LARSON et al., 2001).

Foi proposto ao menos um projeto de demonstração de sistemas BIG-CC baseado em cada tecnologia de gaseificação acima mencionada. Como dito anteriormente, o único projeto que efetivamente foi desenvolvido foi aquele baseado na tecnologia de gaseificação CFB a altas pressões (a tecnologia de gaseificação era *Foster Wheeler*), na unidade que foi construída em Värnamo, Suécia.

3.3.2.3. Perspectivas de desenvolvimento da tecnologia BIG-CC

Em 1996, foi publicado um estudo (CONSONNI e LARSON, 1996) sobre a possível performance de diferentes configurações de sistemas de BIG-CC utilizando turbinas aeroderivativas, a partir da gaseificação de madeira. Naquele estudo, foi considerado o emprego de uma turbina a gás GE LM2500, comercialmente disponível e que se supunha à época poderia ser mais facilmente adaptada para o uso de combustíveis de baixo poder calorífico. Foram avaliadas três alternativas de gaseificação, que resultariam em eficiências de geração elétrica entre 33% e 37% (base PCS da madeira). No entanto, para uma segunda geração de sistemas BIG-CC, o estudo apontou a possibilidade, e também a necessidade, de se trabalhar com maiores temperaturas e maior relação de pressões na turbina a gás. Essencialmente, os sistemas BIG-CC baseados em gaseificação pressurizada ou em gaseificação com aquecimento indireto têm maior potencial do ponto de vista termodinâmico, mas também maiores restrições tecnológicas no curto prazo. Já os sistemas BIG-CC baseados em gaseificação atmosférica, embora potencialmente menos eficientes, teriam menos restrições no curto prazo.



Sistemas BIG-CC baseados em gaseificação CFB pressurizada poderiam alcançar eficiências de geração elétrica em torno de 38% (PCS da madeira), enquanto sistemas mais avançados, com turbinas a gás com resfriamento intermediário na compressão, poderiam ter eficiência da ordem de 41% (PCS da madeira). Quanto aos custos da eletricidade, caso o desenvolvimento tivesse tido continuidade e algumas unidades já estivessem em operação, os autores projetaram valores entre 4,9 e 5,7 ¢US\$/kWh (valores de 1991, com custo de capital entre 1.500 e 2.000 US\$/kW).

Em 1998, outro estudo prospectivo foi publicado (FAAIJ et al., 1998), considerando a gaseificação de madeira e de resíduos sólidos urbanos em sistemas com capacidades elétricas líquidas de 30, 60 e 150 MW. A tecnologia de gaseificação considerada foi a CFB atmosférica, de acordo com a variante proposta pela TPS. Os autores apontaram para necessidades de desenvolvimento tecnológico, entre as quais foram destacadas: a melhoria no processo de secagem da biomassa, o emprego da tecnologia de gaseificação CFB pressurizada para as unidades de maior capacidade, a limpeza do gás a seco e a altas temperaturas, o uso de processos de recuperação de calor e a compressão multiestágio nas turbinas a gás. O conjunto das alterações tecnológicas permitiria que as eficiências de geração elétrica chegassem a 54-59% (base PCI da madeira), dependendo da escala. Com relação aos custos da eletricidade, os autores calcularam-nos em 0,2 ¢Dfl./kWh para um sistema de 51 MWe operando com madeira (custo de capital de 5.900 Dfl./kWe e biomassa a 8 Dfl./GJ), e de 0,14 ¢Dfl./kWh para um sistema de 215 MWe (custo de capital de 3.700 Dfl./kWe e biomassa a 8 Dfl./GJ). Considerando o câmbio de 1 Dfl. = 0,52944 US\$ de dezembro de 1998, os custos equivalentes em US\$ seriam 106 US\$/MWh, para custo de capital igual a 3.120 US\$/kW e biomassa a 4,2 US\$/GJ, para sistemas de 51 MWe, e 74 US\$/MWh, para custo de capital equivalente a 1.960 US\$/kW e biomassa a 4,2 US\$/GJ, para sistemas de 215 MWe.

Mais recentemente, Larson et al. (2005) fizeram uma análise em que a principal premissa é que todos os atuais problemas tecnológicos estariam resolvidos, quais sejam: alimentação e operação de gaseificadores de biomassa pressurizados de grande capacidade (~30 bar), limpeza do gás com craqueamento completo do alcatrão, separação de álcalis e particulados, modificação das turbinas a gás para uso de gás com baixo poder calorífico com performance equivalente às turbinas com queima de gás natural, e significativa redução do custo de capital devido ao efeito de aprendizado. Foi considerada capacidade de gaseificação de 5.680 t/dia (switchgrass com 20% de umidade). Uma configuração para a máxima produção de eletricidade, com biomassa a 3 US\$/GJPCS, resultou em custo da eletricidade igual a 52 US\$/MWh (sem incluir seqüestro de carbono) ou 77 US\$/MWh (com tecnologia de seqüestro de carbono). Segundo os autores, e para efeito de comparação, no presente a eletricidade gerada em uma planta IGCC a carvão mineral (carvão a 1,26 US\$/GJPCS) custa 46 US\$/

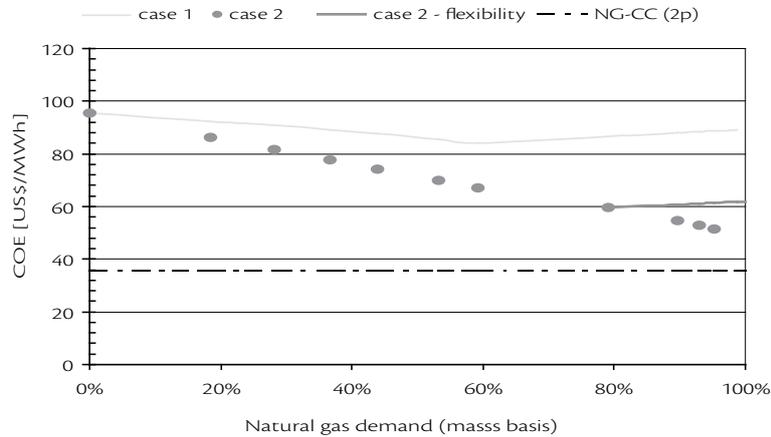
MWh. Para a remuneração da emissão evitada de carbono da ordem de 30 US\$/tC, a geração de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa seria competitiva.

Uma alternativa que até agora não tem sido considerada é a da geração de eletricidade em ciclos combinados co-firing, nos quais uma mistura de gás natural e gás de gaseificação de biomassa seria queimada em turbinas a gás. As justificativas para tal opção tecnológica seriam: (i) as turbinas a gás poderiam operar com combustível de médio poder calorífico, sem que a turbina a gás fosse sacrificada em seu desempenho, sem necessidade de alterações significativas, e, muito provavelmente, sem desgaste acentuado; (ii) o desempenho do ciclo combinado co-firing seria significativamente melhor do que o do ciclo BIG-CC; (iii) a capacidade elétrica da instalação poderia ser bastante maior do que a dos ciclos BIG-CC possíveis, com impacto positivo no investimento inicial; (iv) a capacidade de geração de gás de biomassa seria modesta, compatível com a capacidade dos sistemas especificados nas unidades de programas de PD&D; (v) os riscos associados ao suprimento e às oscilações dos preços dos combustíveis seriam minimizados; e (vi) por todas as razões anteriores, seria mais fácil viabilizar a construção do número de unidades de gaseificação/limpeza dos gases suficiente para induzir redução dos investimentos iniciais por efeito de aprendizado (a respeito ver, por exemplo, RODRIGUES et al. 2003a e 2003b).

Em estudo preliminar de viabilidade feito recentemente (WALTER e LLAGOSTERA, 2006), mostrou-se que o custo da eletricidade gerada em um sistema puramente BIG-CC seria muito maior do que um ciclo combinado convencional a gás natural (96 x 36 US\$/MWh, como mostrado no extremo esquerdo da Figura 3-7). Por outro lado, o dimensionamento de um sistema co-firing que poderia deslocar em até 12% a demanda de gás natural (base mássica) permitiria a produção de eletricidade a custos próximos a 60 US\$/MWh, com certa margem de flexibilidade do ponto de vista da mistura combustível (ver linha contínua em vermelho no lado direito da Figura 3.3-5).

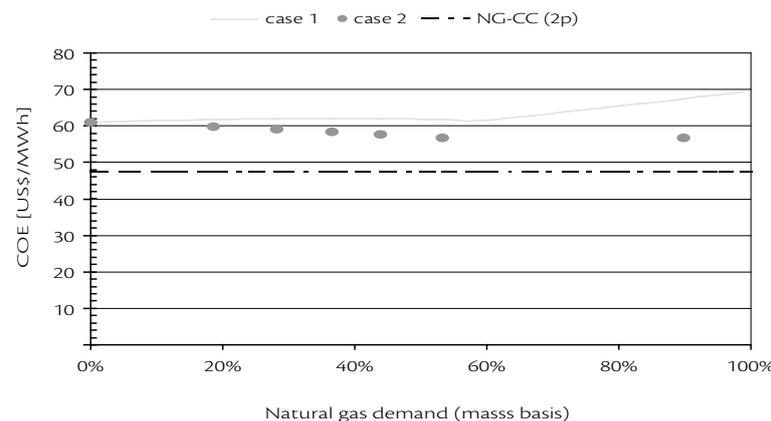


Gráfico 3-7: Custo da eletricidade gerada, em cenário atual, com gás natural a 3,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 1,20 US\$/GJ



Em um cenário de médio prazo, considerada a hipótese de redução dos custos da parte não convencional do sistema BIG-CC devido aos efeitos de aprendizado (i.e., gaseificador, sistema de alimentação da biomassa e sistema de limpeza dos gases), e supondo a elevação dos preços tanto do gás natural quanto da biomassa, os custos de produção de eletricidade poderiam ser correspondentes ao que é apresentado na Figura 3-8. A análise feita não leva em consideração a alternativa de obtenção de receita em função das emissões evitadas de carbono.

Gráfico 3-8: Custo da eletricidade gerada em cenário de médio prazo, com gás natural a 5,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 2,00 US\$/GJ



Do ponto de vista econômico, a alternativa dos ciclos combinados co-firing seria mais adequada no curto prazo como estratégia de viabilização do número de unidades suficiente para que os efeitos de aprendizado possam ser induzidos. No médio e longo prazos, as vantagens econômicas dos ciclos combinados co-firing seriam reduzidas em relação aos ciclos puramente BIG-CC, mas ainda continuaria havendo a importante vantagem da flexibilidade do ponto de vista do suprimento do combustível.

Os custos dos programas de PD&D em gaseificação de biomassa em larga escala e limpeza dos gases são altos e não faria sentido o Brasil iniciar uma rota própria de desenvolvimento, sem estar associado a outros países. Em particular, a tecnologia BIG-CC tem altos custos de desenvolvimento, fatores que vão impor dificuldades para o eventual desenvolvimento endógeno de um projeto nacional. Por outro lado, a sinergia com o desenvolvimento das tecnologias de gaseificação de biomassa para produção de combustíveis líquidos pode resultar benefícios à tecnologia BIG-CC (ver tópico adiante – 3.3.2.6 Combustão do palhicho em substituição ao bagaço).

Ainda sobre a tecnologia BIG-CC, no momento a vantagem competitiva do Brasil seria a fabricação no país, sob licença, dos equipamentos cuja construção é essencialmente mecânica, o que poderia redundar em significativa redução dos custos. Tal estratégia foi utilizada pela TPS na unidade piloto de Grève-in-Chianti, sendo que a Ansaldo italiana construiu, sob licença, grande parte dos equipamentos do sistema de gaseificação e de limpeza do gás.

3.3.2.4. Integração de sistemas BIG-CC às usinas de açúcar e etanol

Na Figura 3-9 é apresentado o esquema de uma unidade BIG-CC em integração parcial a uma usina de açúcar e etanol. Integração parcial significa que a demanda de vapor de processo da usina é parcialmente atendida pela capacidade de geração de vapor na HRSG acoplada à turbina a gás. Geradores de vapor convencionais, queimando biomassa residual da cana, atenderiam o restante da demanda de vapor. Tal alternativa foi considerada em um estudo de inserção da tecnologia BIG-CC em usinas Cubanas (PONCE e WALTER, 1999) e foi também explorada em estudos feitos pelo CTC e TPS (WALDHEIM et al., 2000; MORRIS et al., 2002).

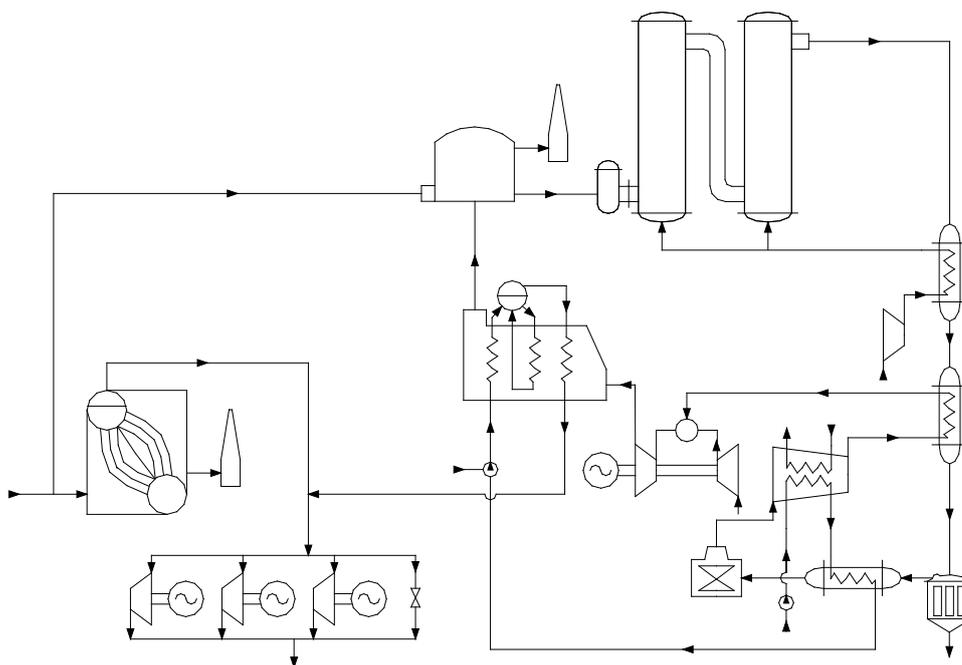


Figura 3-9: Integração parcial de um sistema BIG-CC a uma usina de açúcar e etanol

Fonte: Ponce e Walter (1999)

A plena integração de um sistema BIG-CC a uma usina de açúcar e etanol, para viabilizar sua operação no modo cogeração durante a safra, requer a redução da demanda de vapor de processo para índices da ordem de 250 a 300 kg/tc. Tal necessidade deve-se à baixa capacidade de geração de vapor em ciclos BIG-CC e é incompatível com as demandas de vapor estimadas neste projeto para o horizonte de 10 a 20 anos, principalmente no caso da produção de bioetanol por hidrólise do bagaço em unidades anexas às destilarias tradicionais.

Considerada tanto a capacidade de geração de vapor e, portanto, a capacidade de atendimento da demanda térmica da usina, quanto a disponibilidade de biomassa, existem soluções de compromisso que resultam em determinadas capacidades de sistemas BIG-CC em função do porte da usina. O estudo feito pelo CTC e TPS (WALDHEIM et al., 2000; MORRIS et al., 2002) foi desenvolvido para uma usina com capacidade de moagem de 7.000 t/dia (pouco abaixo de 300 tc/h), tendo sido consideradas diferentes situações: integração parcial e integral do sistema BIG-CC à usina, manutenção de parte da capacidade de geração de vapor existente (no caso, a 22 bar, 300°C), elevação da pressão e da temperatura do vapor gerado em caldeiras convencionais (para 82 bar, 480°C), geração do vapor de processo diretamente a 2,5 bar, e redução da demanda de vapor de processo para 340 e 280 kg/tc.

Em algumas situações, a rigor, a integração térmica seria nula, ou seja, a demanda térmica do processo seria totalmente atendida pelos geradores de vapor convencionais e o vapor gerado na HRSG do sistema BIG-CC seria expandido em uma turbina a vapor de condensação. Os sistemas BIG-CC considerados seriam baseados na turbina a gás GE LM2500.

Na análise, aspectos econômicos não foram diretamente considerados. A primeira conclusão importante é que, em termos da eletricidade excedente que pode ser comercializada, todas as configurações, exceto uma, são equivalentes. A exceção corresponde à integração total do sistema BIG-CC à usina, empregando-se para tanto um sistema baseado em duas turbinas a gás, com redução da demanda de vapor de processo para 280 kg/tc. Nesse caso, o índice médio anual de eletricidade excedente equivale a 291 kWh/tc. Para as demais configurações, os resultados do estudo mostraram que o índice de eletricidade excedente varia entre 163-172 kWh/tc, ou seja, praticamente equivalentes. Cabe destacar que a plena integração exigiria a redução de demanda de vapor de processo a níveis baixos em relação ao que se imagina venha ocorrer em horizonte de 10 a 20 anos. Também, cabe notar que no caso da integração parcial, os índices de geração de eletricidade acima apresentados são equivalentes aos da tecnologia de geração elétrica baseada na geração de vapor a 90 bar e 520°C.

No projeto desenvolvido pelo CTC e pela TPS, em função da equivalência observada nas várias alternativas de integração parcial, optou-se pela alternativa mais convencional: uma eventual primeira unidade do sistema BIG-CC deveria ter integração parcial com a usina, sem substituição do sistema de cogeração convencional. Na verdade, o que se considerou mais adequado foi a manutenção de pelo menos parte dos geradores de vapor já existentes, que produziriam vapor a 22 bar, 300°C, para alimentação das turbinas de acionamento mecânico e de uma pequena turbina para geração elétrica. O vapor de escape dessas turbinas atenderia o processo industrial, cuja demanda seria reduzida para 340 kg/tc. O bagaço que deixaria de ser utilizado alimentaria um sistema BIG-CC baseado na turbina a gás GE LM2500, operando sempre como uma termoelétrica. Uma usina com capacidade



de moagem 7.000 t/dia, com a recuperação de pontas e folhas, teria biomassa suficiente para operar o sistema com fator de capacidade 87% (LARSON et al., 2001).

A proposta de integração parcial minimizaria os riscos tecnológicos, pois a operação da usina não seria afetada por falhas do sistema BIG-CC, além de reduzir o capital inicial necessário.

Em síntese, as conclusões atuais são que, no caso de se dar prioridade para a produção de bioetanol por hidrólise e não para a geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC não seriam justificáveis. Por outro lado, no caso da prioridade ser dada à geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC só seriam justificáveis se houver integração térmica total, o que requer drástica redução da demanda de vapor de processo. Caso a integração parcial não possa ocorrer, os sistemas BIG-CC não seriam significativamente mais vantajosos do que sistemas a vapor operando com vapor gerado à alta pressão e alta temperatura.

3.3.2.5. Gaseificação de biomassa para a produção de combustíveis líquidos

Para a produção de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa, as três principais barreiras tecnológicas estão associadas à: (i) gaseificação de biomassa em larga escala, respeitadas determinadas especificações do gás combustível, (ii) limpeza do gás, de forma eficiente e a custos moderados, preferencialmente a quente (para que sejam evitados os custos e as perdas do resfriamento do gás previamente à limpeza), e (iii) operação eficiente das turbinas a gás com queima dos gases de gaseificação.

O insucesso de vários projetos de demonstração fez com que o interesse em curto prazo na tecnologia BIG-CC fosse bastante reduzido. Entretanto, das três barreiras tecnológicas acima mencionadas, duas delas (as relativas à gaseificação e à limpeza do gás) estão sendo também abordadas nos projetos de PD&D que visam à produção de combustíveis líquidos a partir da gaseificação de biomassa.

Com efeito, biocombustíveis podem ser produzidos a partir de gás de síntese, resultante da gaseificação de biomassa. A partir do gás de síntese podem ser produzidos combustíveis líquidos pelo processo Fischer-Tropsch (gasolina e diesel), hidrogênio, metanol, etanol, DME (di-metil éter), entre outros. A tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, mas especificamente a síntese de combustíveis pode ser beneficiada pela prévia experiência com uso de gás natural.

Muitas das necessidades tecnológicas foram identificadas nos anos 1990, tais como a adequação da alimentação da biomassa em reatores pressurizados, o desenvolvimento de sistemas de limpeza do gás para atender à qualidade requerida e necessidades específicas relacionadas aos processos de conversão. Entretanto, nenhum desses desafios tecnológicos foi ainda completamente superado.

Na produção de combustíveis líquidos, a escala de produção é fator determinante da economicidade do processo, razão pela qual a tecnologia de gaseificação CFB pressurizada é preferível (HAMELINCK et al., 2003; LARSON et al., 2005; HAMELINCK et al., 2001). A gaseificação deve ocorrer de forma a que o gás produzido seja rico em CO e H₂, que são os principais reagentes para a produção dos combustíveis líquidos. A injeção de ar deve ser evitada, já que não é desejável que o gás produzido esteja diluído em nitrogênio.

Na Europa, há grupos de pesquisa que têm focado o desenvolvimento da gaseificação de biomassa e da limpeza do gás produzido, já que a tecnologia de síntese para produção de combustíveis líquidos é considerada comercial. Há projetos em andamento na Holanda, Finlândia, Suécia, Alemanha e Áustria.

Os esforços associados à produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa ajudarão a aceleração do desenvolvimento tecnológico e a redução de custos, por efeito de aprendizado, beneficiando também a tecnologia BIG-CC.

3.3.2.6. Combustão do palhico em substituição ao bagaço

A composição química das biomassas pode diferir significativamente, especialmente a constituição dos inorgânicos, e sua concentração pode ser determinante para a ocorrência, nos geradores de vapor, dos problemas conhecidos como *fouling* e *slagging* (JENKINS et al., 1998). Durante a combustão, a matéria inorgânica é transformada em cinzas que podem se depositar nas superfícies de troca térmica. “Fouling” corresponde ao caso em que os depósitos advêm de substâncias que se vaporizam durante a combustão, e depois se condensam em superfícies. Já o *slagging* corresponde à formação de depósitos em função da existência de inorgânicos fundidos ou com alta viscosidade.

Em ambos os casos, as trocas térmicas são muito afetadas, e o rendimento do gerador de vapor cai (SEGGIANI, 1999), pois os depósitos têm baixa condutividade térmica e alta reflectância (WOYTIUK, 2006). Em adição, dependendo da composição da matéria depositada, pode haver corrosão – gradual ou acelerada – das superfícies de troca térmica (MONTGOMERY e LARSEN, 2002).



A ocorrência de *fouling* e *slagging* depende do tipo de gerador de vapor e da composição da biomassa. Por exemplo, *fouling* nas superfícies do superaquecedor do gerador de vapor pode ser evitado com a redução da temperatura dos gases, o que resulta na redução da temperatura do vapor gerado, e que, por sua vez, impacta drasticamente o rendimento do ciclo de potência (BAXTER et al., 1998).

Biomassas herbáceas, como bagaço de cana e o palhiço da cana, contêm sílica e potássio como principais elementos químicos de suas cinzas. Biomassas herbáceas são também ricas em cloro em relação às outras biomassas. Essas características indicam alta probabilidade de formação de depósitos a temperaturas de combustão altas, ou mesmo moderadas (BAXTER et al., 1998).

A lixiviação dos materiais inorgânicos melhora consideravelmente as propriedades da biomassa enquanto combustível. A lixiviação com água remove grande quantidade de álcalis (tipicamente > 80% de potássio e sódio) e cloro (> 90%), e pequenas frações de enxofre e fósforo também podem ser removidas (DAYTON et al., 1999). De fato, o uso do bagaço de cana sem problemas enquanto combustível deve-se ao fato de que há lixiviação no processo de moagem da cana, mas tal alternativa não se justifica no caso do palhiço, em função do significativo consumo d'água e do fato de que a vantagem relativa à baixa umidade do palhiço seria perdida.

Há muito pouca informação sobre a operação de geradores de vapor utilizando palhiço de cana e, em particular, pouquíssima informação sobre os problemas decorrentes e as ações de mitigação. No Brasil, a partir do emprego em maior escala da colheita mecanizada, algumas usinas têm feito experimentos queimando palhiço (não mais do que 20-25% em massa) misturada ao bagaço. Sabe-se que houve problemas associados à formação de depósitos nas superfícies de troca de calor e à disposição de grande quantidade de cinzas, até porque o palhiço tem chegado com muita terra às usinas.

Como indicador de possíveis problemas associados ao uso de certas biomassas como combustíveis, o índice de álcalis (IA) tem sido empregado. O índice é aplicado com boa precisão no caso do carvão mineral e no caso de biomassa é um indicador razoável. O índice é definido como:

$$IA [kg/GJ] = (\% \text{ de cinzas}) \cdot (\% \text{ de álcalis nas cinzas}) \cdot (PCS)^{-1}$$

Sendo que o teor de álcalis corresponde à soma das concentrações de K_2O e Na_2O nas cinzas.

Segundo Jenkins et al. (1998), se $0,17 < IA < 0,34$, *fouling* é provável. Se $IA > 0,34$, *fouling* é virtualmente certo. Consideradas as concentrações de álcalis indicadas na Tabela 3.3-9 para duas amostras de palhiço, conclui-se que, na melhor das hipóteses, *fouling* é praticamente certo.

Tabela 3.3-9: Índice de álcalis para amostras de palhiço de cana-de-açúcar

| Parâmetro | Amostra 1 ¹ | Amostra 2 ² | Amostra 3 ³ |
|--------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| % cinzas (base seca) | 4,5 | 3,9 | 11,6 |
| % K ₂ O nas cinzas (base seca) | 13,39 | 13,39 | 9,48 |
| % Na ₂ O nas cinzas (base seca) | 0,27 | 0,27 | 0,50 |
| PCS [kJ/kg] | 16.011 ⁴ | 16.630 ⁴ | 17.150 |
| Índice de álcalis [kg/G] | 0,384 | 0,320 | 0,675 |

Fontes: ¹ Jenkins et al. (1996); ² mesma composição de Jenkins et al. (1996), com redução do teor de cinzas;

³ Woytiuk (2006); ⁴ PCS calculado pela fórmula de Mendeliev

Os problemas acima relatados (*fouling* e *slagging*) podem ser minimizados com alterações no projeto dos geradores de vapor. A questão que se coloca é que o desenvolvimento de geradores de vapor específicos para queima de palhiço de cana-de-açúcar não é, a princípio, do interesse da indústria internacional de equipamentos, uma vez que os geradores de vapor a biomassa, e mais especificamente os geradores de vapor para uso da biomassa residual da cana, representam um mercado pequeno (menos de 1% do total de geradores de vapor no mundo, tendo por base a capacidade de geração, segundo Joyce e Dixon (2006)). Assim, o desenvolvimento de geradores de vapor aptos a operarem com palhiço da cana-de-açúcar deve ser feito, sobretudo, no Brasil.



Referências Bibliográficas

- BAXTER, L.L., MILES, T.R, MILES JR. T.R., JENKINS, B.M., MILNE, T., DAYTON, D., BRYERS, R.W., ODEN, L.L. The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences. *Fuel Processing Technology* 1998; 54: 47–78.
- CONSONNI, S, LARSON, ED. Biomass-gasifier/aeroderivative gas turbine combined cycles: Part A – technologies and performance modeling. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 118, pp. 507-515, July 1996.
- DAYTON, D.C., JENKINS, B.M., TURN, S.Q., BAKKER, R.R., WILLIAMS, R.B., BELLE-OUDRY, D., HILL, L.M. Release of Inorganic Constituents from Leached Biomass during Thermal Conversion. *Energy & Fuels*, 1999; 13: 860-870.
- FAAIJ, A.P.C.; NEULEMAN, B., VAN REE, R. Long term perspectives of Biomass Integrated Gasification / Combined Cycle Technology: costs and electrical efficiency. NOVEM / Dept. of Science, Technology and Society, Utrecht University, The Netherlands, 1998.
- FERNADES, A. C. Cálculos industriais na agroindústria da cana-de-açúcar. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003.
- Gasifiers Inventory. www.gasifiers.org. Acessado em novembro de 2006.
- HAMELINCK, C.; FAAIJ, A.P.C.; DEN UIL, H., BOERRIGTER, H. Production of FT transportation fuels from biomass: process analysis and optimisation, and development potential. Report NWS-E-2003-08, Copernicus Institute, Utrecht University, 2003.
- HAMELINCK, C.N.; FAAIJ, A.P.C.; LARSON, E., KREUTZ, T. Future prospects for the production of methanol and hydrogen from biomass. *Science, Technology and Society / Utrecht University*, The Netherlands, 2001.
- HASSUANI, S.J., LEAL, M.R.L.V., MACEDO, I.C. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. *Série Caminhos para Sustentabilidade*. Piracicaba: PNUD-CTC, 2005.
- JENKINS, B.M., BAXTER, L.L, MILES JR., T.R., MILES, T.R. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology* 1998; 54: 17–46.
- LARSON, E.D., WILLIAMS, R.H., LEAL, M.R.L.V. A review of biomass integrated-gasifier/gas turbine combined cycle technology and its application in sugarcane industries, with an analysis for Cuba. *Energy for Sustainable Development*. Vol. V, No. 1, pp. 54-76, March 2001.

- LARSON, E.D.; JIN, H.; WILLIAMS, R.H., CELIK, F.E. Gasification based liquid fuels and electricity from biomass with carbon capture and storage. Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration, Alexandria, Virginia, USA, 2005.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2007). MAPA - Acesso através do site <<http://agricultura.gov.br>>
- MONTGOMERY M., LARSEN, O.H. Field test corrosion experiments in Denmark with biomass fuels Part 2: Co-firing of straw and coal. *Materials and Corrosion*, 2002; 53(3): 185-194.
- MORRIS, M., WALDHEIM, L., LINERO, F.A.B., LAMÔNICA, H.M. 2002. Increased Power Generation from Sugar Cane Biomass – the results of a technical and economic evaluation of the benefits of using advanced gasification technology in a typical Brazilian sugar mill. Texto disponível em <www.tps.se>. Acesso em 14/07/2003.
- PONCE, F., WALTER, A. Potential Assessment of BIG-GT Technology in Cuban Sugar Cane Mills. In: Proceedings of the Fourth Biomass Conference of the Americas, Oakland, EUA, Agosto, 1999, pp. 1127-1133.
- RODRIGUES, M., WALTER A., FAALJ, A. Co-firing of Natural Gas and Biomass Gas in Biomass Integrated Gasification/Combined Cycle Systems. *Energy* 2003; 28: 1115–1131.
- RODRIGUES, M., FAALJ, A., WALTER, A. Techno-economic analysis of co-fired biomass integrated gasification/combined cycle systems with inclusion of economies of scale. *Energy*, 2003, 28, 1229-1258.
- SEGGIANI, M. Empirical correlations of the ash fusion temperatures and temperature of critical viscosity for coal and biomass ashes. *Fuel*, 1999; 1978: 1121–1125.
- WALDHEIM, L., MORRIS, M., LEAL, M.R.L.M. Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash. Proceedings of the Progress in Thermochemical Biomass Conversion. Tyrol, Austria, September, 2000.
- WALTER, A, LLAGOSTERA, J. Feasibility Analysis of Co-Fired Combined Cycles Using Biomass-Derived Gas and Natural Gas. ECOS 2006, Creta, Grécia, Julho de 2006.
- WOYTIUK, K. Sugar cane trash processing for heat and power production. Lulea University of Technology. Lulea, Suécia, 2006.



Áreas potenciais para a
expansão da produção de
cana-de-açúcar



4. Áreas Potenciais para a expansão da produção de cana-de-açúcar

A avaliação das áreas potenciais para a expansão do cultivo de cana-de-açúcar baseou-se nas estimativas da aptidão da produtividade agrícola em função das características do solo e do clima, usando-se mapas com informações georreferenciadas em escala de 1:5.000.000. Foram descartadas áreas integrantes de três grandes biomas do país: Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica, e todas as áreas com algum tipo de restrição, identificadas como reservas ambientais, parques nacionais, áreas indígenas, áreas militares e áreas urbanas. Por ser a mecanização da colheita essencial para a sustentabilidade ambiental e social, não foram consideradas áreas com declividade maior que 12%.

Do total de terras aptas para a cultura canavieira, foram selecionadas 17 áreas situadas nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, todas aptas para a colheita totalmente mecanizada da cana. Essas áreas somam 106,6 Mha, das quais se estima que 80,2 Mha estariam aptas e disponíveis para o cultivo da cana em 2025, excluídas a área atual ocupada por outras culturas, bem como a projeção de sua expansão até 2025. A projeção do ganho de produtividade agrícola médio nessas áreas é de 40,5% em 20 anos (média de 1,7% ao ano), o que permitiria produzir em 64,2 Mha (descartando-se 20% de 80,2 Mha como área de reserva legal) 5,1 bilhões de toneladas de cana ao ano, capazes de gerar 434,6 bilhões de litros de bioetanol ao ano com a tecnologia industrial atual (85 litros por tonelada de cana-de-açúcar).

Para produzir 205 bilhões de litros de bioetanol (volume equivalente a 10% do consumo mundial de gasolina estimado para 2025), seriam necessários, com o atual rendimento industrial, 30,3 Mha plantados com cana-de-açúcar, além dos quais 7,6 Mha (mais que o dobro da atual cobertura da Mata Atlântica, ou, mais que a metade da atual cobertura do Pantanal) seriam preservados com matas nativas (área de reserva legal).

Com vistas a explorar mais detalhadamente esse potencial e validar na escala 1:500.000 os resultados obtidos em escala maior, desenvolveu-se um estudo mais preciso sobre o potencial de produção agrícola em uma das 17 áreas – aquela identificada como Área 10. Ocupando 9,0 milhões de ha, essa área abrange parcialmente a região norte do estado do Tocantins, sul do estado do Maranhão e uma pequena parte situada no sul do estado do Piauí.

Os resultados obtidos confirmam que há um bom potencial de expansão da cana-de-açúcar na Área 10, principalmente nas localidades situadas ao sul do Maranhão e Piauí, onde se concentram os melhores potenciais de produção. As condições climáticas, principalmente o déficit hídrico acentuado nos meses de maio a setembro, indicam o interesse da utilização de um sistema de irrigação de salvação no período crítico.

4.1. Avaliação das áreas potenciais

4.1.1. Introdução

A área territorial do Brasil é de 851,5 milhões de hectares (Mha). De acordo com o estudo realizado, perto da metade é ocupada pela Bacia Amazônica, Pantanal, Mata Atlântica e áreas de reserva: indígena, florestal, militar, parques naturais, e outras. Outros grandes números sobre o uso da terra no país indicam que as pastagens ocupam 26% do território nacional e a área com as culturas permanentes e temporárias 8%.

No país, a cana-de-açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área. Dos cerca de 58 milhões de hectares de área colhida, 68% referem-se às lavouras de soja e milho, como pode ser visto na Tabela 4.1-1.



Tabela 4.1-1: Principais culturas agrícolas do Brasil em 2007

| Cultura | Área colhida (10 ⁶ ha) | Produção (10 ⁶ t) | % Área colhida* | Produtividade (t/ha) |
|------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Soja | 20,58 | 57,95 | 35,6 | 2,82 |
| Milho | 13,82 | 51,83 | 23,9 | 3,75 |
| Cana-de-açúcar | 6,69 | 515,82 | 11,6 | 77,10 |
| Feijão | 3,83 | 3,25 | 6,6 | 0,85 |
| Arroz | 2,90 | 11,05 | 5,0 | 3,81 |
| Café | 2,22 | 2,17 | 3,8 | 0,97 |
| Mandioca | 1,91 | 26,92 | 3,3 | 14,09 |
| Trigo | 1,85 | 4,09 | 3,2 | 2,21 |
| Algodão herbáceo | 1,12 | 4,09 | 1,9 | 3,65 |
| Laranja | 0,80 | 18,50 | 1,4 | 23,13 |
| Outros | 2,06 | 7,22 | 3,6 | 3,50 |
| Total | 57,78* | não avaliado | 100,0 | --- |

* O valor refere-se ao conjunto formado pelas 19 maiores culturas agrícolas do Brasil em termos da área colhida em 2007

Fonte: IBGE, 2008

De acordo com dados da FAO (2008), a área colhida com cana-de-açúcar no Brasil, 6,153 Mha em 2006, representa 30% do total da área colhida com essa cultura no mundo, que totaliza cerca de vinte milhões de hectares.

Em termos mundiais, apesar da importância econômica da cana-de-açúcar, sua cultura representa muito pouco no que diz respeito à ocupação de área, quando comparada àquelas dedicadas à produção de grãos, conforme indicado na Tabela 4.1-2.

Tabela 4.1-2: Áreas ocupadas pelas principais culturas agrícolas no mundo em 2006

| Cultura | Área colhida (10 ⁶ ha) | Observação |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Trigo | 216,1 | 26,5 Mha na Índia e 23,5 Mha na China (23,1% da área total) |
| Arroz | 154,3 | 43,7 Mha na Índia e 29,4 Mha na China (47,4 % da área total) |
| Milho | 144,4 | 28,6 Mha nos EUA e 27,1 Mha na China (38,6% da área total) |
| Soja | 93,0 | 30,2 Mha nos EUA e 22,0 Mha no Brasil (56,1% da área total) |
| --- | --- | --- |
| Cana-de-açúcar | 20,4 | 6,2 Mha no Brasil e 4,2 Mha na Índia (51,0 % da área total) |

Fonte: FAO, 2008

4.1.2. Estimativa do potencial de produção de cana no Brasil

O cenário estudado de expansão da produção de bioetanol no país, que examina a hipótese de substituir por bioetanol o volume equivalente a 10% do consumo mundial de gasolina em 2025, é concebido considerando que a produção de cana-de-açúcar ocorra com colheita mecanizada, expandindo-se em áreas que não sejam aquelas que correspondam às regiões de reservas ambientais ou protegidas por lei.

De acordo com o estudo, excluindo-se as áreas protegidas, restam 437,2 Mha. Dessa área, foram retiradas aquelas que apresentam declividade superior a 12% (para viabilizar a colheita mecanizada com a tecnologia atualmente disponível), que ocupam 75,6 Mha. Portanto, esse trabalho analisa as possibilidades de expansão da produção da cana-de-açúcar em uma área de 361,6 Mha.

A estimativa das áreas com o potencial de expansão da produção de cana-de-açúcar foi realizada com o concurso do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2005). Apresenta-se a seguir uma série de figuras que ilustram as diferentes etapas e ferramentas empregadas no estudo.



A visualização das áreas com restrição ambiental, Bacia Amazônica, Pantanal e Mata Atlântica, bem como das áreas com declividade maior e menor a 12% (75,6 milhões de hectares) encontra-se na Figura 4-1.

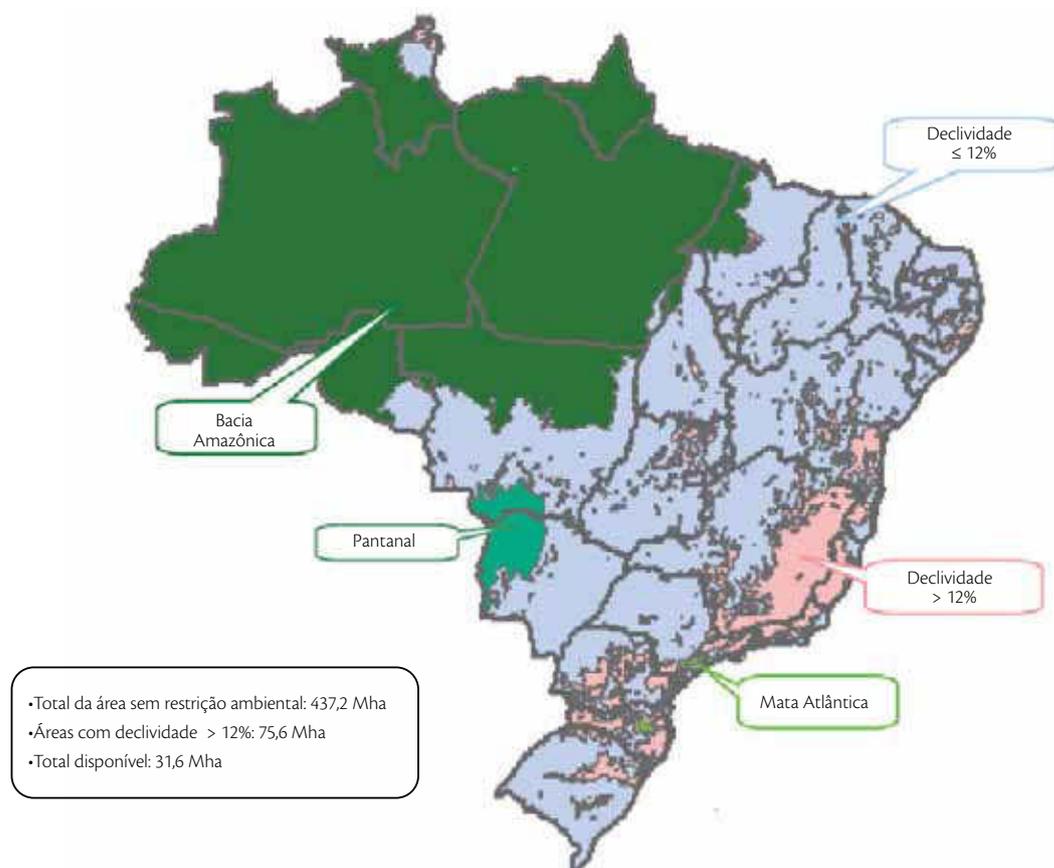


Figura 4-1: Principais áreas com restrição ambiental e declividade

Fonte: CTC (2005) e NIPE (2006)

A Figura 4-2 mostra a diversidade de tipo de solos no Brasil, em diferentes cores, excluídos a Amazônia e o Pantanal.

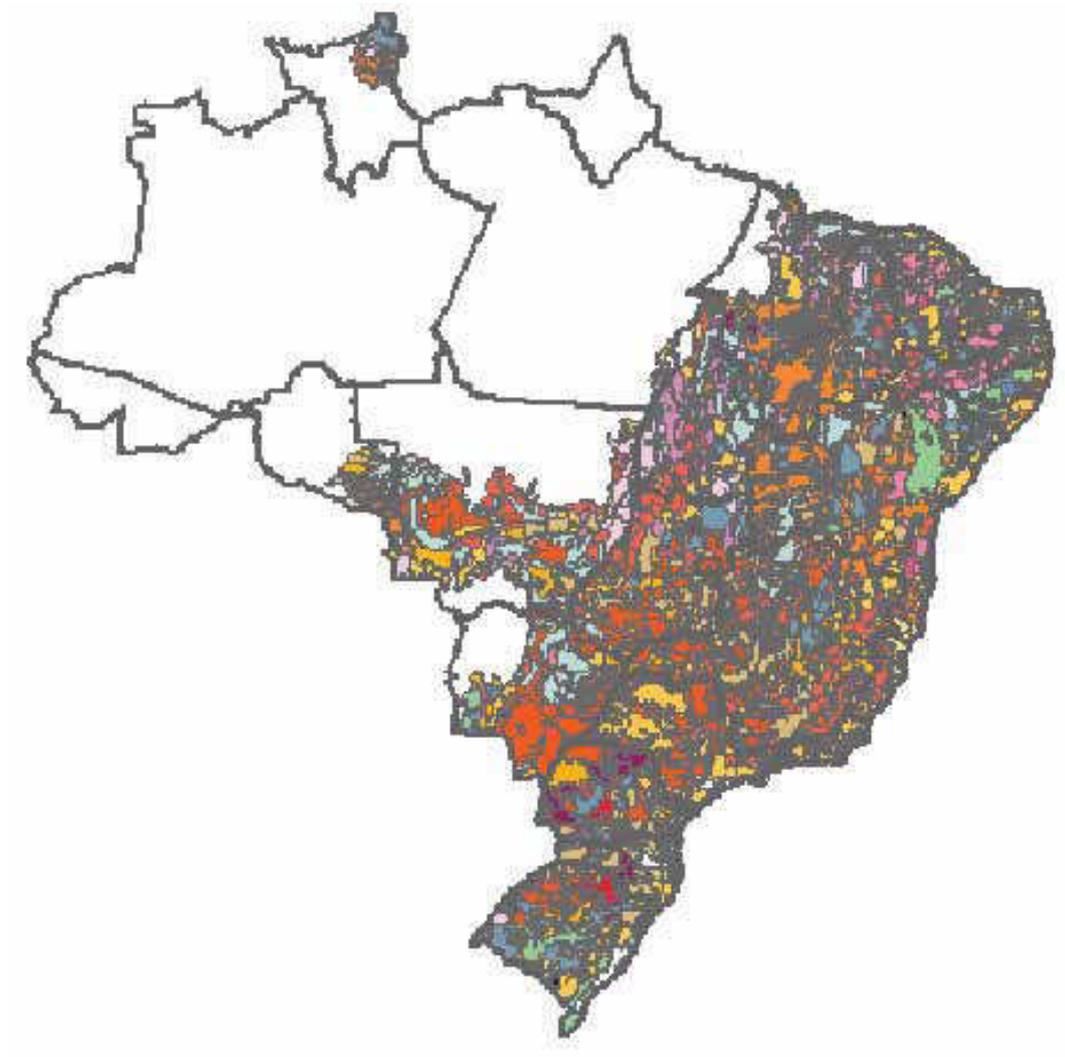


Figura 4-2: Diversidade de tipos de solos no Brasil

Fonte: CTC (2005)



A Figura 4-3 apresenta a distribuição dos tipos de clima no Brasil, de acordo com a classificação de Koppen, excluídos novamente Amazônia e Pantanal.

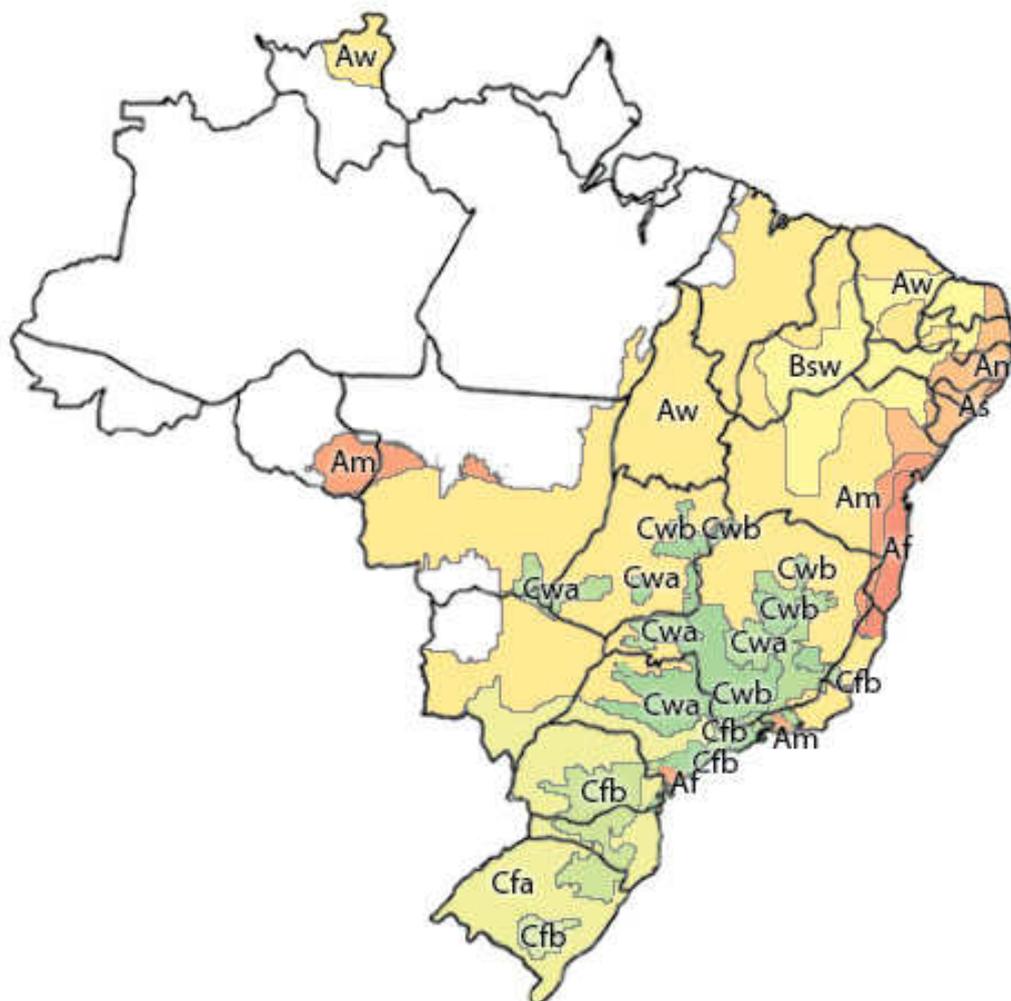


Figura 4-3: Distribuição dos tipos climáticos no Brasil

Fonte: CTC (2005)

A Figura 4-4 apresenta a aptidão para produção de cana-de-açúcar no Brasil, em função do tipo de solo somente, excluindo também áreas com restrição ambiental.

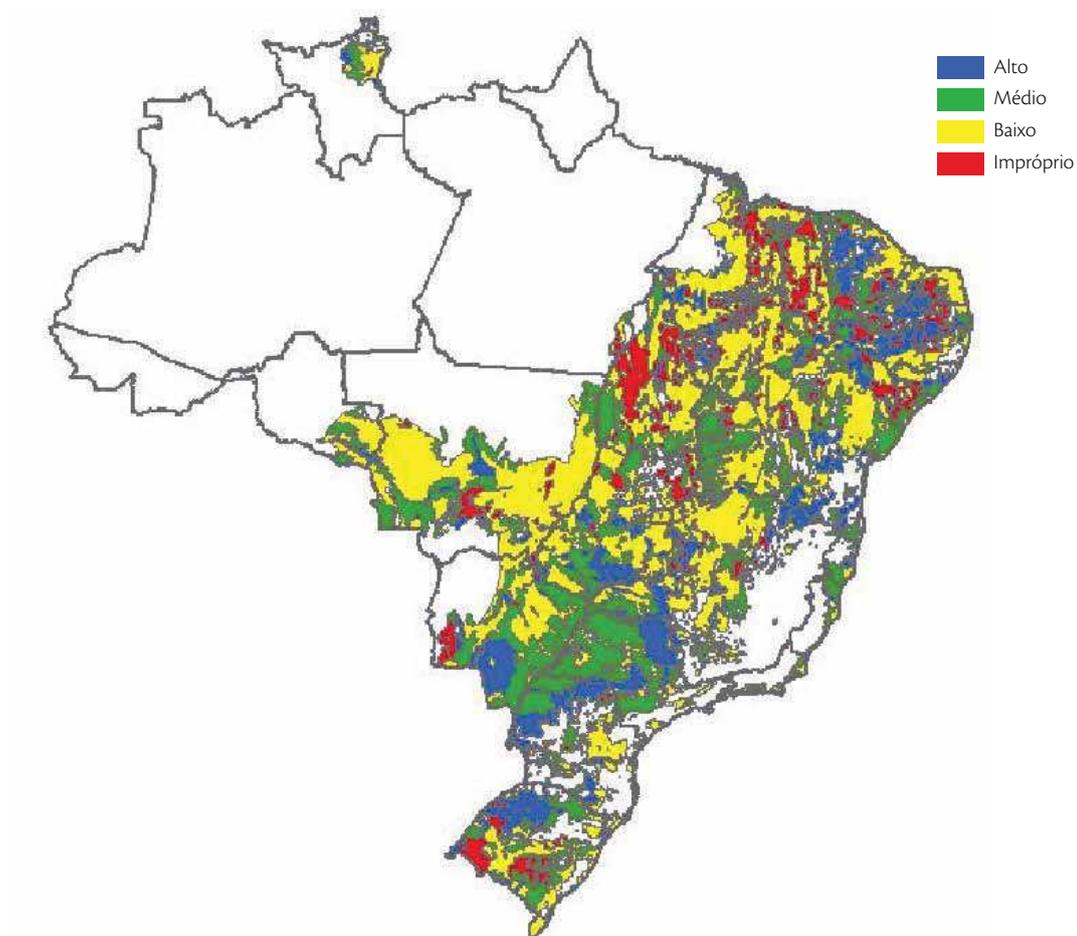


Figura 4-4: Aptidão para a produção de cana em função do tipo de solo

Fonte: CTC (2005)



A Figura 4-5 mostra a aptidão para a produção de cana-de-açúcar, em função do fator climático somente, sempre considerando a exclusão de áreas com restrições ambientais.

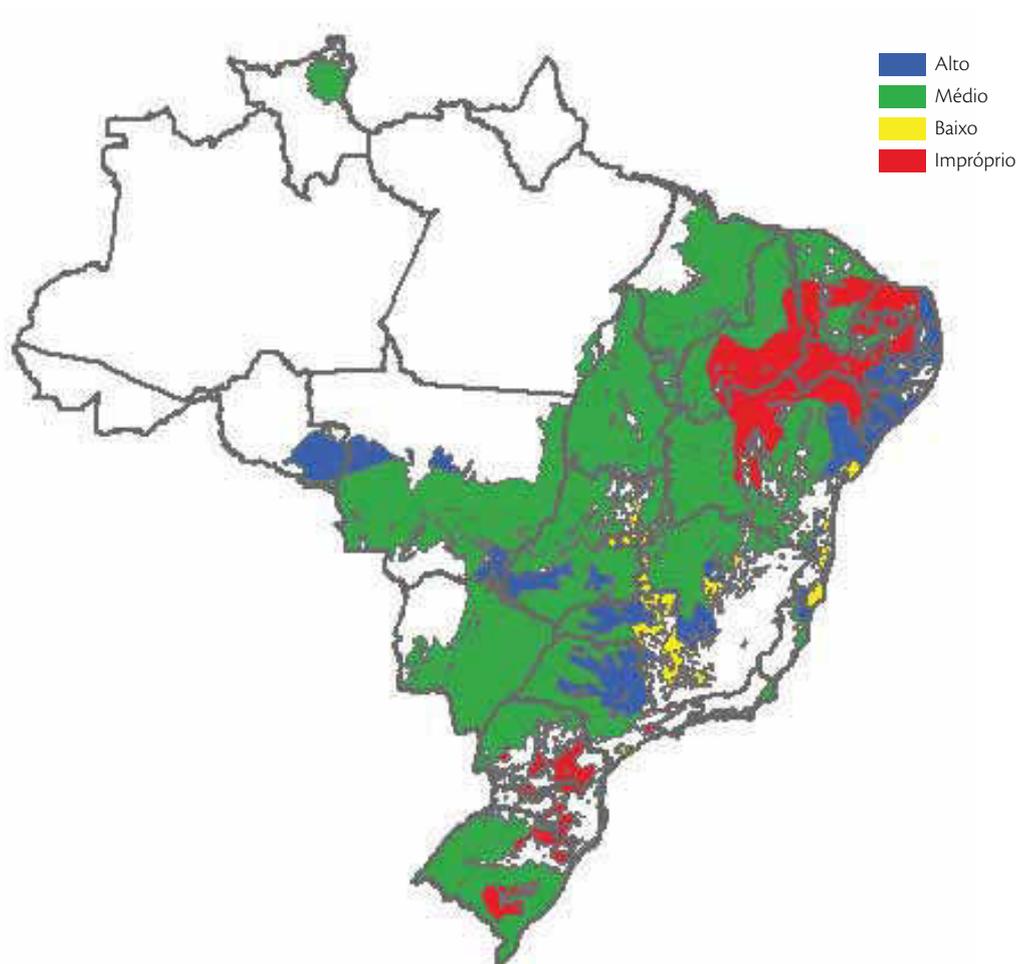


Figura 4-5: Aptidão para a produção de cana em função do clima

Fonte: CTC (2005)

A superposição dessa série de análises resulta em dois mapas (Figuras 4-6 e 4-7), escala 1:5.000.000, levando-se em consideração as características de solo e clima, sem e com irrigação de salvação¹, que exibem os potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar de acordo com a seguinte classificação: Alto (81,4 t/ha/ano), Médio (73,1 t/ha/ano), Baixo (64,8 t/ha/ano) e Impróprio (inferior a 64,8 t/ha/ano), que foi descartado. É importante destacar que o potencial classificado como baixo representa a produtividade média mundial do cultivo de cana-de-açúcar.

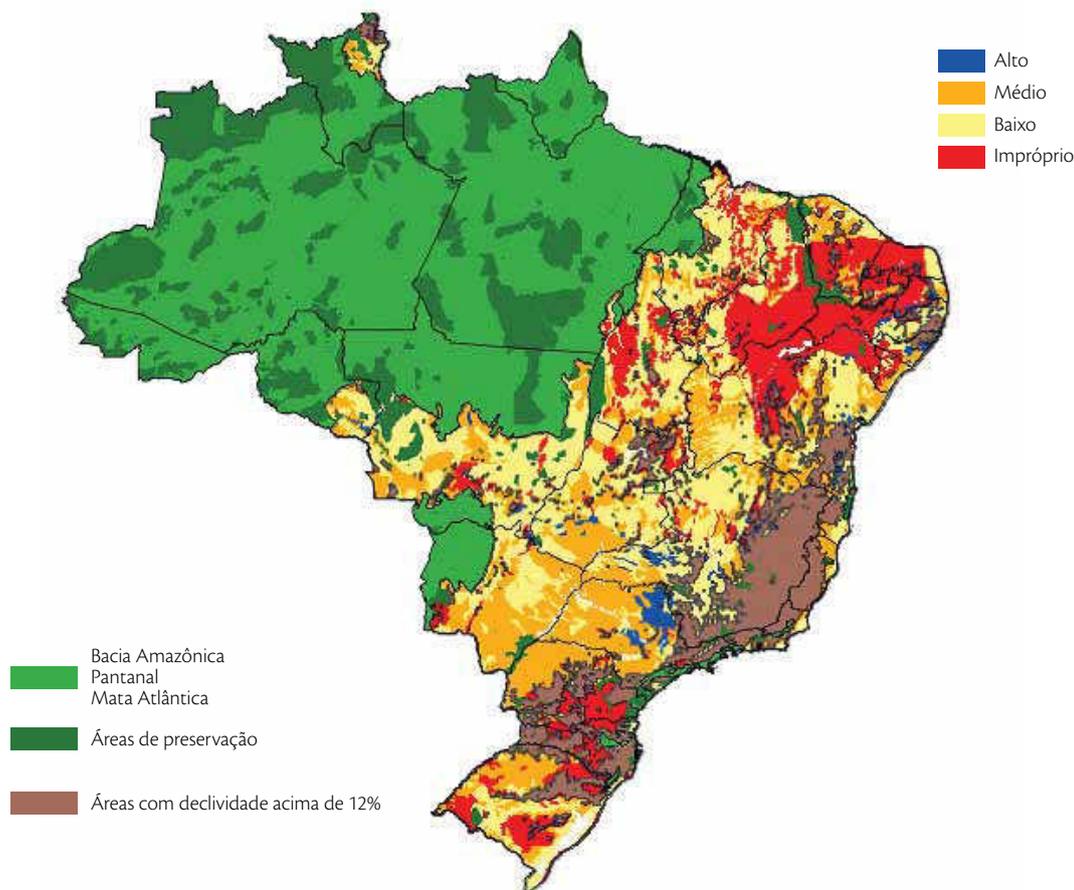


Figura 4-6: Mapa do potencial das áreas para produção de cana-de-açúcar sem irrigação

Fonte: CTC (2005) e NIPE (2006)

¹ A irrigação de salvação visa o uso da água apenas por um período curto do estágio de cultivo. A aplicação é feita em duas ou três irrigações de 60 milímetros por mês, após o plantio, para cana-planta, ou após os cortes, para cana-soca. No caso da cana-de-açúcar já aplica-se normalmente, via fertirrigação, a água de lavagem da cana e/ou água com vinhoto. (Agência de Informação Embrapa – Cana-de-açúcar, 2008).

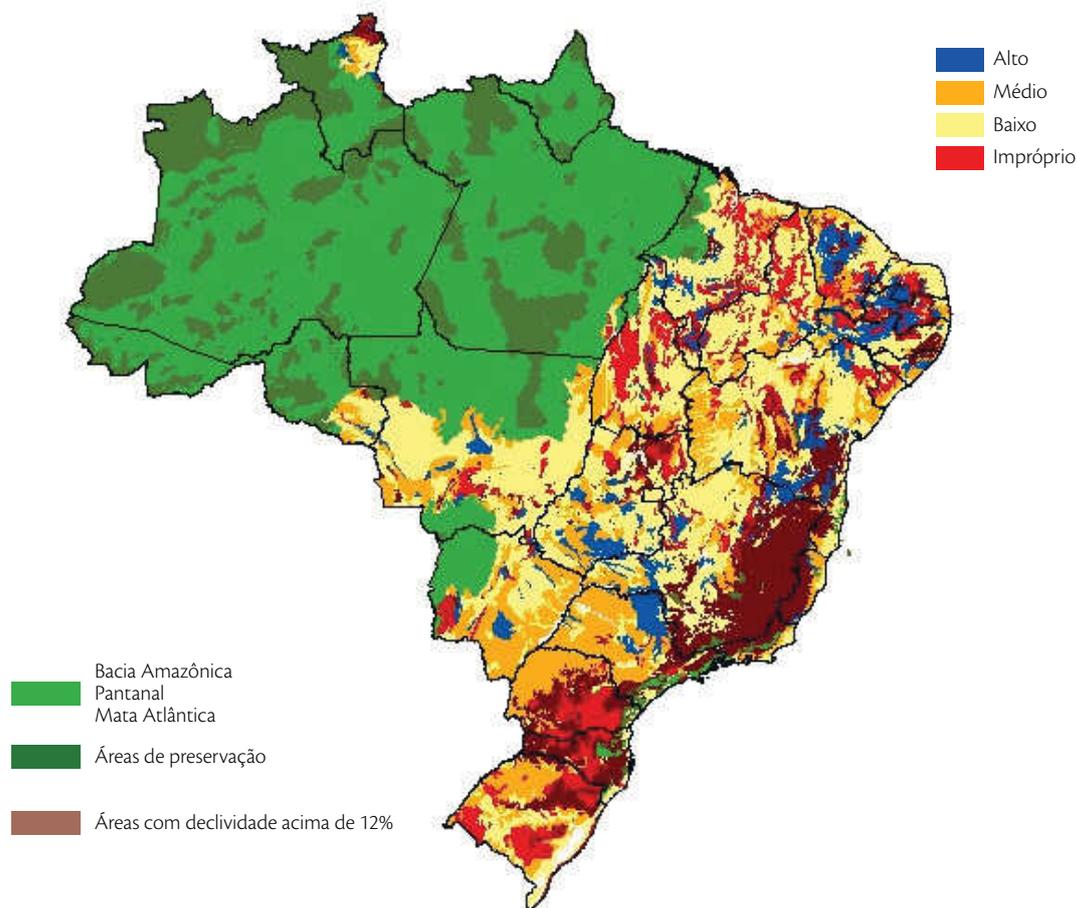


Figura 4-7: Mapa do potencial das áreas para produção de cana-de-açúcar com irrigação de salvação

Fonte: CTC (2005) e NIPE (2006)

A comparação dos mapas que mostram os potenciais sem irrigação e com irrigação de salvação permite observar que há um aumento considerável de áreas com bom potencial para a produção de cana na região Nordeste, se for praticada essa modalidade de irrigação de baixa intensidade, em decorrência da presença de solos aptos para a sua produção.

A Tabela 4.1-3 apresenta um resumo hipotético do potencial de produção máximo de cana no país em relação à área de 361,6 Mha². Sem irrigação, a produção seria de 18,6 bilhões de toneladas anuais, e com irrigação de salvação, seria de 21,1 bilhões de toneladas (um aumento de 13,3 %). Se essas quantidades de produção hipotéticas de cana-de-açúcar fossem usadas para produzir bioetanol com o atual nível de produtividade industrial (85 litros por tonelada de cana), alcançar-se-iam os volumes de 1,58 e 1,79 trilhão de litros ao ano, respectivamente, volumes comparáveis à demanda mundial de gasolina em 2006, de 1,2 trilhão de litros, e projetada para 2025 (1,7 trilhão de litros).

Tabela 4.1-3: Potencial de produção de cana no Brasil

| Potencial | Produtividade esperada (t/há/ano) | Área potencial (Mha) | | Produção potencial de cana ao ano (Mt) | |
|--------------|-----------------------------------|----------------------|---------------|----------------------------------------|-----------------|
| | | Sem irrigação | Com irrigação | Sem irrigação | Com irrigação |
| Alto | 81,4 | 7,9 | 37,9 | 642,8 | 3.086,7 |
| Médio | 73,1 | 113,9 | 98,0 | 8.325,7 | 7.165,2 |
| Baixo | 64,8 | 149,2 | 167,6 | 9.669,2 | 10.863,4 |
| Impróprio | < 64,8 | 90,6 | 58,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | | 361,6 | 361,6 | 18.637,8 | 21.115,2 |

Fonte: CTC (2005)

² A rigor dever-se-ia excluir as áreas urbanizadas. Por área urbanizada entende-se aquela onde efetivamente há aparelho urbano, como construções, casas, ruas, comércio e vida urbana. No entanto, de acordo com estudo realizado pela Embrapa (Miranda et al, 2005), a estimativa da área urbanizada no Brasil no ano 2000, desconsiderando a área ocupada pela Amazônia Legal, é de apenas 1,87 Mha.



4.1.3. Clusters de produção

A definição de *clusters* está relacionada à localização dessas unidades que terão de agrupar-se, da forma mais racional, para poupar custos de transporte, que representam aproximadamente 15% do custo FOB do álcool. A escolha da modalidade de transporte por duto só é justificável se a produção for agrupada em *clusters* de pelo menos 11 destilarias. Por essa razão, escolheu-se a definição do tamanho médio dos *clusters* como sendo composto de aproximadamente 15 destilarias padrão, produzindo 2,55 bilhões de litros ao ano e ocupando uma área cultivada de cana-de-açúcar de 420.000 ha, que proporcionaria 105.000 ha de área de reserva legal.

4.1.4. Estimativa do potencial de produção de cana em 17 áreas selecionadas

Uma outra premissa adotada neste trabalho é a redução das diferenças regionais quanto à produção de cana-de-açúcar e etanol, atualmente concentrada nas regiões Sul e Sudeste. As regiões Norte e Nordeste respondem, juntas, por menos de 15% da atual produção de cana-de-açúcar do país. Assim sendo, o estudo considera o cenário de expansão da cultura canavieira sem irrigação para novas áreas, tipicamente o Centro-Oeste, o interior do Nordeste e parte da região Norte. Foram excluídos os estados das regiões Sul e Sudeste (exceto a região do triângulo mineiro) e a Zona da Mata no Nordeste.

Seguindo essas premissas, foram selecionadas 17 áreas (Figura 4-8), sempre excluindo todas as áreas de reservas identificadas como terras indígenas, parques nacionais, matas nativas e áreas especiais, como bases militares. Nessas 17 áreas, o total apto e disponível para cultivo agrícola é de 106,6 Mha.

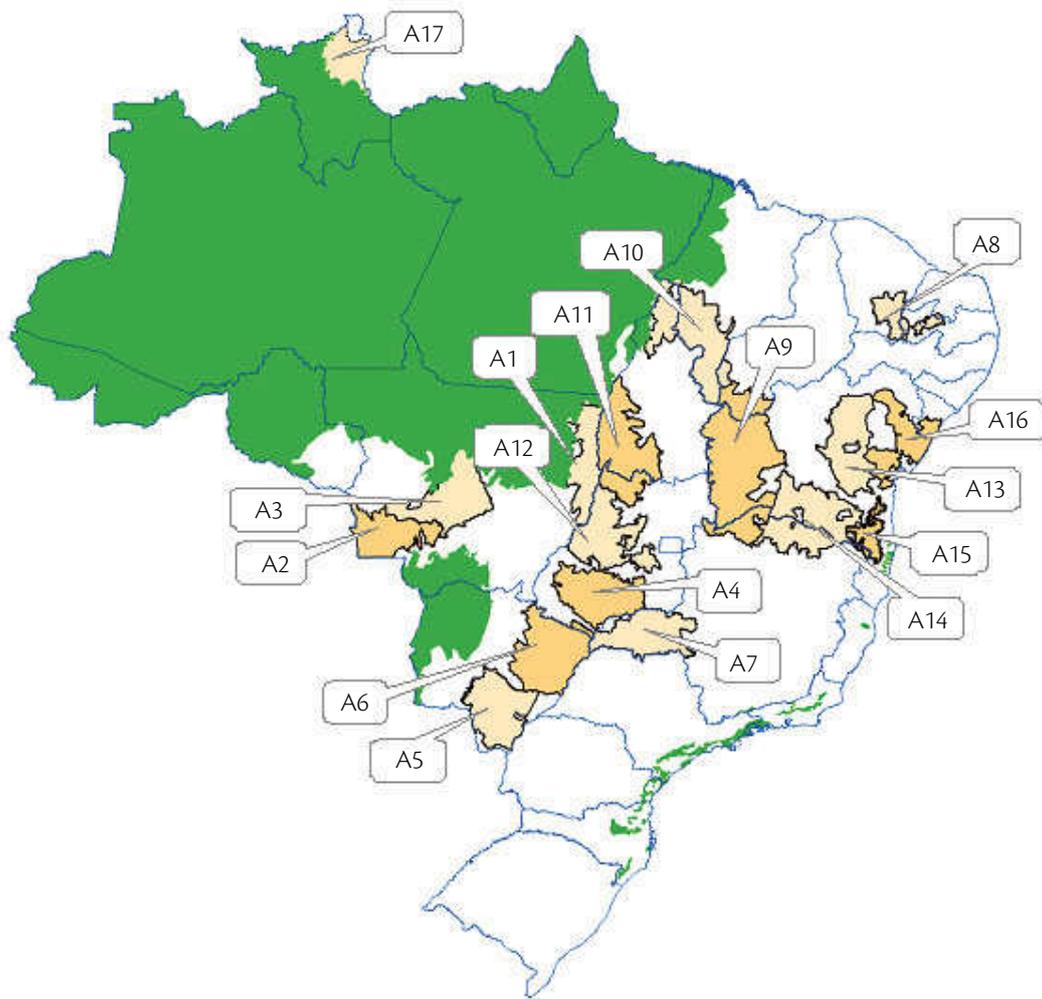


Figura 4-8: Mapa com as dezessete áreas selecionadas para a expansão da produção de cana-de-açúcar

Fonte: NIPE (2006)

De acordo com os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) referentes ao ano de 2003, realizada pelo IBGE, a área ocupada com culturas agrícolas permanentes e temporárias nesses 106,6 Mha era de 11,3 Mha; logo, nas 17 áreas selecionadas, restariam 95,3 Mha disponíveis para a expansão do cultivo da cana em 2003, dos quais 6,8 Mha têm potencial considerado impróprio. Portanto, a estimativa para o ano de 2003 da área apta e disponível para a produção de cana-de-açúcar nas 17 áreas selecionadas neste estudo seria de 88,5 Mha (Tabela 4.1-4).



Tabela 4.1-4: Estimativa total da área apta e disponível para cultivo da cana nas 17 áreas selecionadas em 2003

| Item | Área (Mha) |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| Área total | 106,6 |
| Área ocupada com outras culturas | 11,3 |
| Área disponível | 95,3 |
| Área com potencial impróprio para cultivo da cana-de-açúcar sem irrigação | 6,8 |

Para estimar a disponibilidade de terras para o cultivo da cana-de-açúcar, em 2025, nas áreas selecionadas, projetou-se a expansão das outras culturas agrícolas em cada uma dessas áreas, fazendo-se a devida dedução.

A projeção da área ocupada pelas demais culturas, exceto a cana, nas áreas selecionadas foi feita pelo exame da evolução dessas culturas entre os anos de 1990 a 2005, de acordo com os dados divulgados pelo IBGE (2006). A observação das estatísticas mostra que há diferenças regionais significativas, havendo, inclusive, redução da área ocupada em algumas situações. A taxa de crescimento médio nesse período foi de 1,11% ao ano em todo o país, e de 3,15% ao ano nos 13 estados contemplados no trabalho. Durante a década de 1990, a área agrícola do país praticamente não se alterou, experimentando um aumento de 10 Mha durante a década atual, motivada essencialmente pela expansão da soja na região Centro-Oeste.

Assumiu-se que a evolução da área ocupada pelas demais culturas, aumentará a uma taxa de 1,11% ao ano nas áreas concentradas nos estados da região Nordeste e em Minas Gerais, e a uma taxa de 3,15% ao ano nas áreas concentradas nos estados das regiões Norte e Centro-Oeste.

A Tabela 4.1-5 apresenta a caracterização para cada uma das 17 áreas selecionadas referentes ao ano de 2003.

Tabela 4.1-5: Caracterização das 17 áreas selecionadas

| Área | U.F. | Área apta por potencial de produtividade (Mha) | | | | | Estimativa da área para 2003 (Mha) | | |
|--------------|--------------|------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | Alto | Médio | Baixo | Impróprio | Total | Outras culturas | Disponível (Total – Outras culturas) | Área apta e disponível (Disponível - Impróprio) |
| Área 1 | MT | 0,00 | 1,32 | 4,27 | 0,00 | 5,59 | 0,05 | 5,54 | 5,54 |
| Área 2 | MT | 0,00 | 2,85 | 1,84 | 0,07 | 4,76 | 0,08 | 4,68 | 4,61 |
| Área 3 | MT | 0,12 | 3,46 | 2,55 | 0,31 | 6,44 | 2,24 | 4,20 | 3,89 |
| Área 4 | GO | 0,51 | 4,50 | 1,60 | 0,01 | 6,62 | 2,00 | 4,62 | 4,61 |
| Área 5 | MS | 0,00 | 5,47 | 0,39 | 0,06 | 5,92 | 1,74 | 4,18 | 4,12 |
| Área 6 | MS/GO | 0,62 | 3,86 | 3,50 | 0,07 | 8,05 | 0,34 | 7,71 | 7,64 |
| Área 7 | MG | 0,95 | 2,75 | 1,98 | 0,00 | 5,68 | 1,05 | 4,63 | 4,63 |
| Área 8 | CE/PB/ RN | 0,00 | 1,45 | 0,90 | 0,09 | 2,44 | 0,31 | 2,13 | 2,04 |
| Área 9 | BA/MG/ PI | 0,00 | 7,14 | 7,56 | 1,10 | 15,80 | 1,11 | 14,69 | 13,59 |
| Área 10 | MA/ TO/PI | 0,00 | 4,00 | 3,73 | 1,55 | 9,28 | 0,35 | 8,93 | 7,38 |
| Área 11 | TO/GO | 0,00 | 2,23 | 3,24 | 1,67 | 7,14 | 0,15 | 6,99 | 5,32 |
| Área 12 | GO | 0,00 | 3,02 | 3,41 | 0,29 | 6,72 | 0,32 | 6,40 | 6,11 |
| Área 13 | BA | 0,00 | 3,32 | 1,98 | 0,43 | 5,73 | 0,49 | 5,24 | 4,81 |
| Área 14 | BA/MG | 0,00 | 4,40 | 3,03 | 0,42 | 7,85 | 0,39 | 7,46 | 7,04 |
| Área 15 | BA/MG | 0,37 | 0,68 | 0,07 | 0,00 | 1,12 | 0,11 | 1,01 | 1,01 |
| Área 16 | BA/SE | 0,29 | 1,93 | 2,28 | 0,46 | 4,96 | 0,58 | 4,38 | 3,92 |
| Área 17 | RR | 0,00 | 1,17 | 1,05 | 0,26 | 2,48 | 0,03 | 2,45 | 2,19 |
| Total | | 2,86 | 53,55 | 43,38 | 6,79 | 106,58 | 11,34 | 95,24 | 88,45 |



De forma conservadora, admitiu-se que as outras culturas, nessas 17 áreas, ocuparão somente as terras com potencial de produtividade alto, médio ou baixo (ou seja, as terras consideradas como impróprias para o cultivo da cana também não seriam ocupadas por nenhuma outra cultura).

A estimativa do potencial de produção de cana-de-açúcar nas áreas selecionadas depende, também, da estimativa da produtividade (medida em t/ha/ano) em cada uma dessas áreas. De acordo com o IBGE, dos anos de 2002 a 2004, a produtividade de cana na região Centro-Oeste foi 93,1% daquela observada no estado de São Paulo, e a produtividade nas regiões Nordeste e Norte foi 73,0% da paulista. Neste estudo, assumiu-se que os potenciais de produtividade Alto, Médio e Baixo em 2005 seriam 93,1% daqueles valores avaliados pelo CTC na região Centro-Oeste, e 73,0% nas regiões Norte e Nordeste.

Em relação à projeção das estimativas, assumiu-se que as produtividades aumentariam a uma taxa de 1,4% ao ano na região Centro-Oeste (32,1% em 20 anos), e 2,0% ao ano nas regiões Norte e Nordeste (48,6% em 20 anos), em virtude do incentivo à pesquisa agrônômica. A Tabela 4.1-6 apresenta os valores estimados da evolução regional da produtividade da cana-de-açúcar.

Tabela 4.1-6: Estimativas da evolução regional da produtividade de cana (t/ha/ano)

| Potencial de produtividade | 2005 | | 2015 | | 2025 | |
|----------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| | Centro-Oeste | Norte e Nordeste | Centro-Oeste | Norte e Nordeste | Centro-Oeste | Norte e Nordeste |
| Alto | 75,8 | 59,4 | 87,1 | 72,4 | 100,1 | 88,3 |
| Médio | 68,1 | 53,4 | 78,2 | 65,0 | 89,9 | 79,3 |
| Baixo | 60,3 | 47,3 | 69,3 | 57,7 | 79,7 | 70,3 |

A Tabela 4.1-7 apresenta, para cada uma das 17 áreas, os seguintes parâmetros e estimativas:

- taxas anuais do aumento da área para outras culturas;
- projeções das áreas ocupadas com outras culturas em 2025;
- projeções das áreas aptas e disponíveis para cultivo da cana-de-açúcar em 2025;
- produtividades.

De acordo com as hipóteses assumidas, a área total apta e disponível para cultivo da cana em 2025 nas 17 áreas consideradas soma 80,2 Mha, obtidos pela subtração das áreas impróprias para o plantio da cana (6,8 Mha – Tabela 4.1-5) e da área total ocupada com outras culturas em 2025 (19,6 Mha – Tabela 4.1-7) da área total de 106,6 Mha.

As estimativas das produtividades médias em cada uma das 17 áreas selecionadas para o ano de 2005 e 2025 são apresentadas na Tabela 4.1-7. Os resultados refletem a média ponderada para cada uma das áreas (já subtraídas as áreas que serão ocupadas por outras culturas), calculadas em função da distribuição das terras com potenciais de produtividade Alto, Médio e Baixo, e dos seus respectivos valores de acordo com a localização dessas áreas (Centro-Oeste ou Norte e Nordeste), apresentados na Tabela 4.1-5.

O exame dos números apresentados na Tabela 4.1-7 exhibe um ganho médio de produtividade agrícola nas 17 áreas de 40,5% entre 2005 e 2025, passando de 56,7 t/ha/ano em 2005 para 79,7 t/ha/ano em 2025.



Tabela 4.1-7: Estimativas das áreas aptas para cultivo de cana e das produtividades agrícolas nas 17 áreas selecionadas

| Área | U.F. | Taxa anual do aumento da área para outras culturas | Área ocupada com outras culturas em 2025 (Mha) | Área apta e disponível para cultivo da cana em 2025 (Mha) | Produtividade média em 2005 (t/ha/ano) | Produtividade média em 2025 (t/ha/ano) | Ganho de produtividade 2025/2005 |
|--------------|----------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Área 1 | MT | 3,15 % | 0,09 | 5,50 | 62,1 | 82,1 | 32,1 % |
| Área 2 | MT | 3,15 % | 0,17 | 4,52 | 65,0 | 85,9 | 32,1 % |
| Área 3 | MT | 3,15 % | 4,43 | 1,70 | 65,0 | 85,8 | 32,1 % |
| Área 4 | GO | 3,15 % | 3,97 | 2,64 | 66,8 | 88,2 | 32,1 % |
| Área 5 | MS | 3,15 % | 3,45 | 2,41 | 67,5 | 89,2 | 32,1 % |
| Área 6 | MS/GO | 3,15 % | 0,66 | 7,32 | 65,3 | 86,2 | 32,1 % |
| Área 7 | MG | 1,11 % | 1,34 | 4,34 | 66,6 | 88,0 | 32,1 % |
| Área 8 | CE/PB/RN | 1,11 % | 0,40 | 1,95 | 51,0 | 75,8 | 48,6 % |
| Área 9 | BA/MG/PI | 1,11 % | 1,42 | 13,28 | 50,2 | 74,7 | 48,6 % |
| Área 10 | MA/TO/PI | 3,15 % | 0,70 | 7,03 | 50,4 | 75,0 | 48,6 % |
| Área 11 | TO/GO | 3,15 % | 0,30 | 5,17 | 49,8 | 74,0 | 48,6 % |
| Área 12 | GO | 3,15 % | 0,63 | 5,80 | 64,0 | 84,5 | 32,1 % |
| Área 13 | BA | 1,11 % | 0,62 | 4,68 | 51,1 | 75,9 | 48,6 % |
| Área 14 | BA/MG | 1,11 % | 0,50 | 6,93 | 50,9 | 75,6 | 48,6 % |
| Área 15 | BA/MG | 1,11 % | 0,14 | 0,98 | 55,0 | 81,7 | 48,6 % |
| Área 16 | BA/SE | 1,11 % | 0,75 | 3,75 | 50,7 | 75,3 | 48,6 % |
| Área 17 | RR | 3,15 % | 0,07 | 2,15 | 50,5 | 75,1 | 48,6 % |
| Total | | 2,52 % | 19,64 | 80,15 | 56,7 | 79,7 | 40,5 % |

Finalmente, as estimativas de produção de cana-de-açúcar, em cada uma das 17 áreas, dependem da área apta para o cultivo da cana, da produtividade média da área (apresentadas na Tabela 4.1-7) e da utilização de 80% da área apta para o cultivo da cana, pois 20% deve ser destinada como área de reserva legal.

A Tabela 4.1-8 mostra as estimativas dos potenciais de produção de cana, bem como para a produção anual de etanol, usando-se a produtividade industrial atual de 85 litros por tonelada de cana.



Tabela 4.1-8: Comparação das projeções dos potenciais de produção de cana¹ e de etanol² para 2025 em relação às estimativas para 2005 nas 17 áreas selecionadas

| Área | U.F. | Estimativas para 2005 | | Projeções para 2025 | |
|--------------|----------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | Produção anual de cana (Mt) | Produção anual de bioetanol (Gt) | Produção anual de cana (Mt) | Produção anual de bioetanol (Gt) |
| Área 1 | MT | 273,1 | 23,2 | 360,6 | 30,7 |
| Área 2 | MT | 235,4 | 20,0 | 310,8 | 26,4 |
| Área 3 | MT | 88,5 | 7,5 | 116,9 | 9,9 |
| Área 4 | GO | 141,8 | 12,1 | 187,3 | 15,9 |
| Área 5 | MS | 129,9 | 11,0 | 171,5 | 14,6 |
| Área 6 | MS/GO | 381,9 | 32,5 | 504,4 | 42,9 |
| Área 7 | MG | 231,2 | 19,7 | 305,4 | 26,0 |
| Área 8 | CE/PB/RN | 80,1 | 6,8 | 119,0 | 10,1 |
| Área 9 | BA/MG/PI | 533,8 | 45,4 | 793,2 | 67,4 |
| Área 10 | MA/TO/PI | 284,1 | 24,1 | 422,1 | 35,9 |
| Área 11 | TO/GO | 205,7 | 17,5 | 305,6 | 26,0 |
| Área 12 | GO | 297,1 | 25,3 | 392,3 | 33,3 |
| Área 13 | BA | 191,5 | 16,3 | 284,5 | 24,2 |
| Área 14 | BA/MG | 282,0 | 24,0 | 419,1 | 35,6 |
| Área 15 | BA/MG | 43,3 | 3,7 | 64,3 | 5,5 |
| Área 16 | BA/SE | 152,5 | 13,0 | 226,6 | 19,3 |
| Área 17 | RR | 86,9 | 7,4 | 129,2 | 11,0 |
| Total | | 3.638,8 | 309,3 | 5.112,9 | 434,6 |

¹Cálculo considerando a projeção da área apta e disponível para o cultivo da cana em 2025 (80,2 Mha)

²Produção calculada admitindo-se a produtividade industrial em 85 litros por tonelada de cana ao ano;

Observando-se os valores contidos na Tabela 4.1-8, para os 80,2 Mha aptos e disponíveis para o cultivo de cana-de-açúcar projetados para 2025, nas 17 áreas selecionadas, 16,0 Mha seriam destinados como área de reserva legal (área preservada com mata nativa), e o restante, 64,2 Mha, seria capaz de produzir 5,1 bilhões de toneladas de cana ao ano em 2025, permitindo produzir 434,6 bilhões de litros de bioetanol ao ano, usando-se a tecnologia industrial atual.

Nesse trabalho, nas avaliações realizadas a respeito da distribuição da produção de cana-de-açúcar para atender ao cenário de exportação de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano em 2025, a Área 17 não foi considerada devido à inexistência de infraestrutura mínima que permitisse o escoamento do biocombustível.



4.2. Avaliação do potencial de produção de cana-de-açúcar da Área 10

Essa área de estudo, Área 10, encontra-se localizada na região Norte e Nordeste do Brasil, cobrindo, parcialmente, as regiões norte do estado do Tocantins, sul do estado do Maranhão e uma pequena porção da região sul do estado do Piauí. Situa-se entre os paralelos 5° 00' S e 10° 30' S e entre os meridianos 45° 00' W e 49° 30' W (Figura 4-9 e Figura 4-10).



Figura 4-9: Localização da Área 10 (em vermelho) no mapa do Brasil



Figura 4-10: Detalhe da localização da Área 10 nos estados do Tocantins, Maranhão e Piauí (hachuras em vermelho)

A região ocupa uma extensão territorial de aproximadamente 90.482 km², o que equivale a 9.048.200 ha, abrangendo, em função do tamanho da área, vários municípios nesses estados. Na região existe uma grande diversidade de ambientes humanos, desde o urbano até os eminentemente rurais.

Os relevos mais apropriados encontram-se nas áreas de chapadas, bem como em algumas regiões próximas ao Rio das Balsas e seus principais afluentes. As áreas aptas para o cultivo de cana-de-açúcar na Área 10 somam 2,697 milhões de ha. Descontando-se 20% deste montante como área de reserva legal, restariam 2,158 milhões de ha, que poderiam produzir 156,3 milhões de toneladas de

cana ao ano. Essa quantidade, com a produtividade industrial atual, seria suficiente para produzir 13,3 bilhões de litros de bioetanol ao ano, metade da produção brasileira de 2008.

4.2.1. Geologia da Área 10

A área em estudo é uma região complexa do ponto de vista geológico. Em função disso, várias unidades litoestratigráficas foram identificadas na região, conforme descritas sucintamente abaixo:

Grupos:

- Araxá: micaxistos e gnaisses;
- Tocantins: xistos de baixo grau, ardósias e filitos, metapsamitos e calcário.

Formações:

- Barreiras: arenitos finos e siltitos bem estratificados de cores vermelho, amarelo, branco, roxo, com camada de arenito grosseiro e de conglomerado, geralmente com estratificações cruzada, intercaladas;
- Itapicuru: arenitos finos, avermelhados, róseos, cinza, argilosos;
- Longá: folhelhos pretos e castanhos, siltitos e arenitos laminados;
- Pimenteiras: folhelhos argilosos de cor vermelho-tijolo, bem estratificados, com baixa fissilidade e siltito argiloso, cor creme-rosado;
- Orozimbo: basalto amigdaloidal;
- Pedra de Fogo: folhelhos e siltitos de cores predominantemente avermelhada, roxa e rosa, intercalam-se camadas de arenitos finos, calcário, e margas branco e amarelo claro, finas camadas de calcita e aragonita, além de camadas e lentes de gipsita;
- Piauí: arenitos finos, e siltitos cinza, amarelo e avermelhados bem estratificados;
- Sambaíba: arenitos róseos e avermelhados, gris a amarelados, algo argilosos com intercalações de delgados leitos de sílex.

Além das unidades supracitadas, áreas de aluviões foram observadas próximas às margens dos rios.

Apesar da complexidade das unidades litoestratigráficas, observa-se a predominância de alguns grupos e formações em determinadas localidades. Identificou-se que, ao sul do estado do Maranhão e a oeste do estado do Piauí, predominam as formações Pedra de Fogo e Sambaíba. Na região do município de Balsas, além das formações anteriores, destaca-se também a formação Orozimbo. Na região do muni-



cípio de Porto Franco, a predominância passa a ser das formações Orozimbo e Itapicuru. Na região do município de Araguaína, domina a formação Pedra de Fogo, sendo que a oeste desta predomina a formação Pimenteiras. Em Arapoema e região, há o predomínio do grupo Tocantins, desde a margem do rio Tocantins até próximo ao município de Bernardo Sayão, onde passa a prevalecer o grupo Araxá.

4.2.2. Geomorfologia

Na área em que se realizou o trabalho, foram identificadas duas grandes unidades morfoestruturais: Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins e Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão, segundo o PROJETO RADAM (1973-1974).

A unidade Ortoclinal do Médio Tocantins constitui-se essencialmente de amplos patamares estruturais das formações paleozóicas da bacia sedimentar do Piauí-Maranhão. Esses patamares foram trabalhados por pediplanação e apresentam um caixamento suave em direção à calha do Rio Tocantins. A área apresenta sinais de uma retomada de erosão atual e é atravessada pelo Tocantins, cujos afluentes da margem esquerda são cataclinais e os subafluentes geralmente ortoclinais.

A unidade do Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão é representada por um conjunto de relevo de formas predominantemente tabulares, recoberto na parte oriental (Serra da Ibiapaba) por transições entre a caatinga e cerrado, em clima xeroquimênico.

A maior parte da Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins e do Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão situa-se no domínio morfoclimático dos chapadões e depressões periféricas recobertas por cerrado.

4.2.3. Vegetação

Segundo a classificação das formações vegetais, desenvolvidas pelo PROJETO RADAM (1973 - 1974), verificam-se na área em estudo diferentes tipos de vegetação, dentre elas: Floresta Densa, Faixa de Contato, Floresta Aberta e Cerrado.

A Floresta Densa dos climas quente-úmidos e superúmidos, com acentuada diminuição das chuvas em determinadas épocas do ano (maio a outubro), é caracterizada, sobretudo, por suas grandes árvores, amiúde com mais de 50 metros de altura, que sobressaem entre 25 e 35 metros de altura ao estrato arbóreo uniforme. Pode ser considerada como sinônimo de floresta ombrófila tropical. Na

região, esse tipo de vegetação encontra-se na sub-região fitoecológica de superfície dissecada do Araguaia e subdivide-se em floresta submontana aplainada e floresta submontana acidentada.

A Floresta Aberta é outra classe de formação predominantemente dos climas quentes e úmidos, com chuvas torrenciais bem marcadas por curto período seco. Caracteriza-se, sobretudo, por grandes árvores, bastante espaçadas, e frequentes grupamentos de palmeiras e enorme quantidade de fanerófitas sarmentosas que envolvem as árvores e cobrem inteiramente o estrato inferior.

Esse tipo de vegetação pode ser dividido em duas fisionomias ecológicas sendo que apenas a floresta mista (Cocal) ocorre na área estudada. A floresta mista é uma formação mista de palmeiras e árvores latifoliadas sempre verdes, bem espaçadas, de altura bastante irregular, com grupamentos de babaçu, nos vales rasos e concentrações de nanofoliadas decíduais, nos testemunhos quartzíticos das superfícies aplainadas.

Na região fitoecológica do cerrado, tanto na sub-região de depressão da bacia do Rio Tocantins quanto na sub-região dos altos platôs do Maranhão-Piauí, foram encontrados três subdivisões fisionômicas do cerrado: Cerradão, Campo Cerrado e Parque.

Além das formações vegetais citadas, a região também apresenta uma faixa de transição entre a Floresta e o Cerrado, denominada faixa de contato, que apresenta vegetação com atributos de ambos os sistemas.

4.2.4. Caracterização Climática

No que diz respeito ao clima, trabalhou-se conforme a classificação de Köppen, que por sua vez tem como base a subdivisão dos climas terrestres dentro de cinco grandes tipos, representados pelas letras A, B, C, D e E. Esses tipos climáticos estão definidos por critérios de temperatura e precipitação pluviométrica. A temperatura é um fator de grande importância no desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo considerada ideal a faixa entre os 21°C e 34°C. Quanto à incidência hídrica, a gramínea precisa de, no mínimo, 1200 mm/safra.

Os tipos climáticos foram agrupados nas mesmas classes de potencial - Alto, Bom, Médio e Impróprio - sendo: a) tipo climático pertence ao potencial Alto: As, Am, e Cwa; b) potencial Bom, Aw e Cfa; potencial Médio: Af e Cwb e d), de caráter Impróprio.

A Figura 4-11 apresenta o potencial climático, com o contorno da Área 10 em destaque.

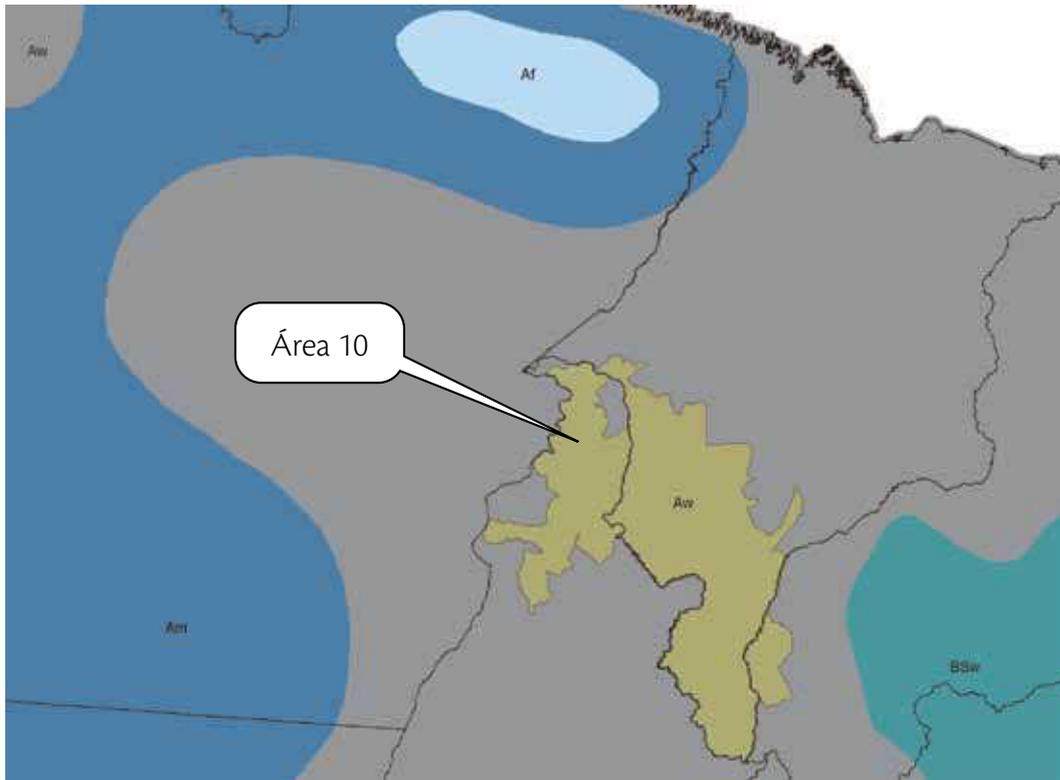


Figura 4-11: Área 10 - Potencial Climático – Classificação Köppen

Fonte: Adaptação a partir dos dados do CTC (2005)

4.2.4.1. Tocantins

O Estado do Tocantins tem uma área superior a 277 mil km² de relevo suave que varia entre 100 m e 300 m de altitude ao longo das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. O clima é tropical úmido com estação chuvosa entre outubro e abril. No período seco, maio a setembro, os rios que deságuam na Bacia Amazônica baixam suas águas, abrindo lugar para praias fluviais de areias claras. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C e 26°C nos meses chuvosos e entre 28°C e 35°C durante a seca. As precipitações médias anuais variam entre 1.800mm ao norte e a leste, e 1.000mm na porção sul do estado.

A precipitação anual nos três municípios de Araguatins, Tocantinópolis e Araguaína, os quais estão localizados dentro da área de estudo, é considerada boa, porém mal distribuída. A elevada temperatura e baixa precipitação nos meses de junho a setembro contribuem para uma deficiência hídrica muito elevada nesses meses. A maior deficiência ocorre em Tocantinópolis com 496,6 mm e a menor em Araguaína com 348,0 mm. Esses valores de deficiência hídrica mostram que para viabilizar o plantio de cana-de-açúcar na região é necessário que se faça um planejamento de irrigação de salvação.

4.2.4.2. Maranhão

Com altitudes reduzidas e topografia regular, apresenta um relevo modesto, com cerca de 90% da superfície abaixo dos 300 metros. No centro-sul predomina o relevo de planaltos e chapadas como uma porção do Planalto Central Brasileiro. Entretanto, o norte e o litoral maranhenses se encontram em área de planície de baixas altitudes.

O oeste maranhense está dentro da área de atuação do clima equatorial com médias pluviométricas e térmicas altas. Já na maior parte do estado, se manifesta o clima tropical com chuvas distribuídas nos primeiros meses do ano.

A precipitação anual, nos municípios de Imperatriz e Carolina, é considerada boa, porém, mal distribuída, assim como ocorre nos municípios do Tocantins. As elevadas temperaturas e baixa precipitação nos meses de junho a setembro contribuem para uma deficiência hídrica muito elevada nesses meses.

A região onde se encontram os municípios de Balsas e Alto Parnaíba tem uma condição climática mais desfavorável do que os outros municípios citados anteriormente. As elevadas temperaturas e a baixa precipitação nos meses de maio a outubro contribuem para uma deficiência hídrica muito elevada nestes meses.

As maiores deficiências ocorrem em Balsas com 746,4 mm e em Alto Parnaíba com 674,7 mm. As maiores áreas e características de solos e relevo favoráveis mostram que esta região tem potencial e viabilidade de plantio de cana-de-açúcar, porém é necessário que se faça um planejamento de irrigação de salvação.



4.2.4.3. Piauí

O relevo piauiense abrange planícies litorâneas e aluvionares, nas faixas às margens do rio Parnaíba e de seus afluentes, que permeiam a parte central e norte do estado. Ao longo das fronteiras com o Ceará, Pernambuco e Bahia, nas chapadas de Ibiapaba e do Araripe, a leste, e da Tabatinga e Mangabeira, ao sul, encontram-se as maiores altitudes da região, situadas em torno de 900 metros de altitude. Entre essas zonas elevadas e o curso dos rios que permeiam o estado, como, por exemplo, o Gurgueia, Fidalgo, Uruçuí Preto e o Parnaíba, encontram-se formações tabulares, contornadas por escarpas íngremes, resultantes da ação erosiva das águas.

Com clima tipicamente tropical, o Piauí apresenta temperaturas médias elevadas, variando entre 18°C (mínimas) e 39°C (máximas). A umidade relativa do ar oscila entre 60% e 84%.

No litoral e às margens do rio Parnaíba, os níveis anuais de precipitação pluviométrica situam-se entre 1.000mm e 1.600 mm. A frequência de chuvas diminui na medida em que se avança para a região sudeste do estado; porém, níveis anuais médios de precipitação abaixo de 800 mm são encontrados apenas em 35% do território piauiense.

A região estudada do Piauí tem um clima semelhante ao do município de Alto Parnaíba no Maranhão.

4.2.5. Comparativo climático entre a região canavieira de Ribeirão Preto-SP e a de Balsas-MA

De acordo com o estudo realizado na Área 10, a região de Balsas é a que tem melhor característica de solo e relevo para implantar um pólo de produção de bioetanol e açúcar. Pode-se observar que as temperaturas na região de Ribeirão Preto são bem menores quando comparada com as de Balsas e Alto Paranaíba.

A precipitação na região de Ribeirão Preto é maior e mais bem distribuída, resultando em uma deficiência hídrica bem menor, característica que demonstra a não necessidade de irrigação de salvação da cultura. Ressalta-se que a comparação com a região do Maranhão está sendo realizada com uma condição climática quase ideal para a produção de cana-de-açúcar que é a região de Ribeirão Preto.

Em uma segunda comparação com as áreas de expansão atual, principalmente as regiões do Oeste Paulista, Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e Sudeste/Nordeste do Mato Grosso do Sul, verifica-se similaridade de precipitação pluviométrica anual e distribuição de chuvas. Esse clima, juntamente com solos de alto e médio potencial, denota plenas condições para expansão da cultura de cana-de-açúcar na Área 10.

Com as características climáticas citadas da área estudada, verificou-se uma distribuição irregular de chuvas ao longo do ano, evidenciando estações muito bem definidas de seca e outra úmida. Isso indica que, mesmo apresentando índices de precipitações anuais satisfatórias (média de 1.050 mm nas regiões sul do Maranhão e sudoeste de Piauí, bem como 1.400 mm nas regiões norte do Tocantins e sudoeste do Maranhão), o déficit hídrico é bastante elevado, pois essas chuvas se concentram nos meses de outubro a março e, conseqüentemente, proporcionam um período de escassez de chuvas concentrado nos meses de maio a setembro.

Dentro desse contexto, ressalta-se que, para a cultura de cana-de-açúcar (cultura semi-perene), será necessária a utilização de um sistema de irrigação complementar, para que a planta suporte o período de estiagem. Segundo dados obtidos com experimentos na área de irrigação dentro do Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), em locais semelhantes, há uma tendência em se utilizar um sistema de irrigação de salvação ou de período crítico. No sistema de salvação, seria aplicada uma lâmina de aproximadamente 60 mm e no de período crítico duas a três lâminas de 40 mm. Há necessidade, portanto, para cada nova unidade a ser instalada na região, de se elaborar projetos específicos para cada condição estudada.

4.2.6. Metodologia do levantamento pedológico

O estudo foi realizado em nível de reconhecimento de baixa intensidade, onde as classes de solos são identificadas por observações em intervalos ao longo de percursos que cruzam diferentes padrões de drenagem, relevo e geologia.

O levantamento obedeceu às regras comumente utilizadas, ou seja, interpretação de imagens de satélite, trabalho de campo, interpretação de análises laboratoriais e mapeamento.

Realizou-se uma avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos de solos, com o intuito de indicar áreas visando futuras instalações de usinas para a produção de bioetanol e açúcar.

O trabalho foi dividido em etapas, as quais serão descritas a seguir.



4.2.6.1. Análise em imagens de satélite

Uma análise prévia foi realizada em imagens de satélite Landsat-5 de 2.006 para planejar o roteiro de campo. As imagens utilizadas são dos pontos órbitas.

Com base em estudos comparativos das características dos perfis examinados e das amostras extras, complementados por estudos de correlação de solos com seus fatores de formação, estabeleceu-se o conceito das várias unidades de mapeamento.

Constaram, ainda, as alterações e revisões da legenda preliminar e confecção e elaboração da legenda final do mapeamento e mapa de solos, além de revisão das descrições dos perfis e de seus resultados analíticos. A confecção final dos mapas de solos, de potencial de produção e de aptidão agrícola foram feitas no software ArcGis® versão 9.0 da Esri.

4.2.6.2. Trabalho de campo

O levantamento de solos na região norte do estado do Tocantins, sul do estado do Maranhão e uma pequena parte situada no sul do estado do Piauí foi realizado em âmbito de reconhecimento de baixa intensidade, para apresentação final em escala de 1:500.000.

Com o uso da imagem de satélite com as localizações de estradas e cidades, executou-se o trabalho de campo. No decorrer do trabalho, que consistiu em prospecções com observação da vegetação e de solos em barrancos ou por meio de perfurações com trado e descrição de perfis em trincheiras, fez-se a classificação preliminar das classes de solos existentes. Foram coletadas amostras em 85 pontos de observações nas profundidades de 0 cm a 20 cm e 80 cm a 100 cm em solos profundos, e 0 cm a 20 cm e 20 cm a 50 cm em solos rasos. O mesmo ocorreu em 11 perfis de solos, onde as amostragens foram feitas de acordo com os horizontes do solo até uma profundidade entre 150 cm e 200 cm.

Para a classificação final das unidades de mapeamento, utilizaram-se os resultados analíticos de laboratório dos perfis e pontos de observações amostradas juntamente com inúmeras observações, onde a amostragem não foi realizada. Colocaram-se no mapa de solos os locais onde foram coletados os perfis e pontos de observações.

Os perfis de solos foram descritos de acordo com os procedimentos normatizados por Santos et al. (2005). Os tipos de solos dos perfis e dos pontos amostrados foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2006).

4.2.6.3. Análises de solo

Devido à quantidade de tipos de solos do país, cujas definições, conceitos e critérios taxonômicos³ utilizados encontram-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, o estudo realizado pelo CTC (2005), optou, para este trabalho, por agrupar os principais tipos de solos para a produção de cana-de-açúcar em quatro classes de potencial: Alto, Bom, Médio e Impróprio, nas cores azul, laranja, amarelo e vermelho, respectivamente (Figura 4-14).

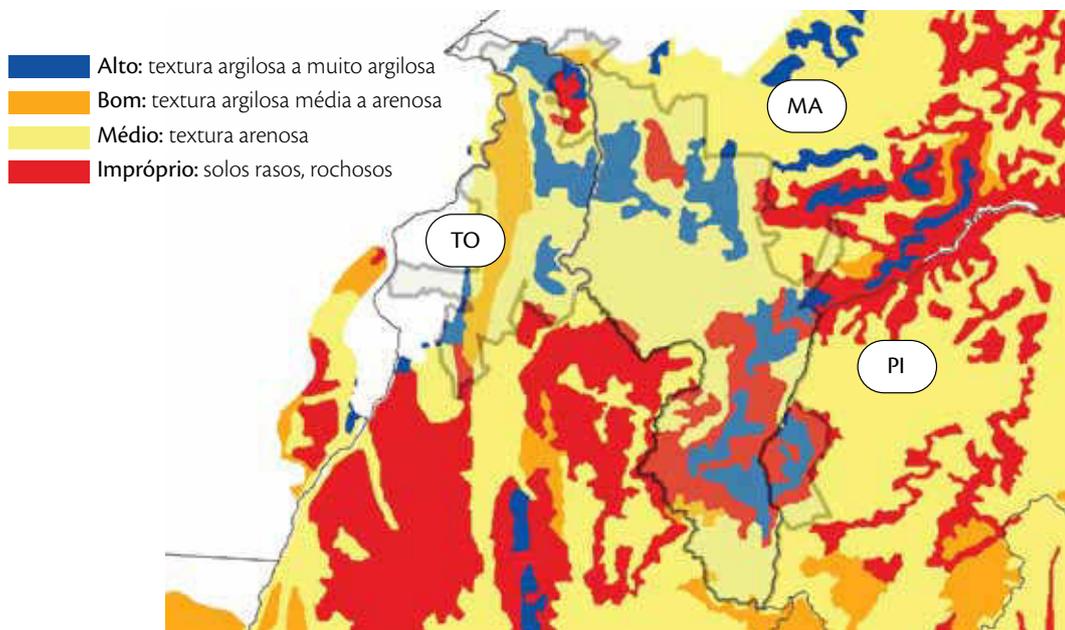


Figura 4-12: Área 10 – Potencial de solos

Adaptação a partir do estudo realizado pelo CTC (2005)

³ Critérios Taxonômicos: critérios específicos para classificação dos solos, de acordo com sua estrutura, origem, composição, granulometria e outros.



As análises das amostras de solo foram realizadas no laboratório de solos da Pirasolo, em Piracicaba –SP. Essas análises são brevemente descritas a seguir.

O pH do solo foi medido em água deionizada e KCl 1 mol l⁻¹. A matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkley e Black. O cálcio, magnésio e alumínio trocável pelo método do KCl 1 mol l⁻¹. O potássio e fósforo foram extraídos pela solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol l⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol l⁻¹). A acidez potencial (H+Al) foi medida pelo método do acetato de cálcio mol l⁻¹.

Para a granulometria, foi realizada a determinação pelo método da pipeta, utilizando NaOH 0,1 M como agente dispersante. A densidade do solo foi determinada pesando-se os solos coletados por anéis volumétricos de volume interno conhecido, após secagem em estufa a 105 °C.

4.2.7. Potencial de produção para cana-de-açúcar

Dentro da área estudada, o potencial de produção foi definido pelo tipo de solo, bem como pelas informações contidas no extenso banco de dados do Centro de Tecnologia Canaveira (CTC) relacionando classes de solos e produtividades.

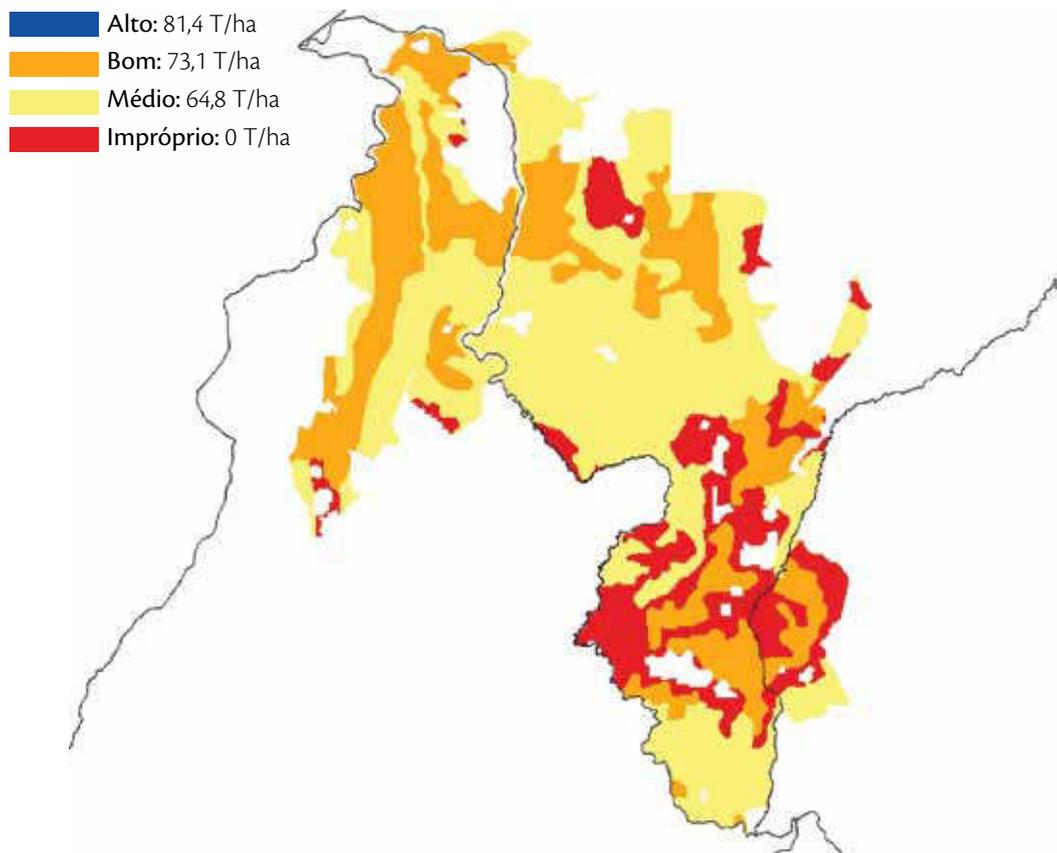


Figura 4-13: Área 10 - Potencial de Produção de cana-de-açúcar

4.2.7.1. Declividade

Quanto à declividade, segregaram-se duas classes de declive: de 0% a 12% e acima de 12%. Na primeira classe de declive, não há restrição de mecanização, desde que o solo seja profundo e sem pedras nos horizontes superficiais. Para a segunda classe de declive (acima de 12%), há dificuldades para o manejo mecanizado da cultura de cana-de-açúcar. Ressalta-se que há possibilidade de cultivo de cana-de-açúcar em áreas com declividade um pouco acima de 12%, principalmente para o sistema de cana queimada colhida manualmente. No entanto, optou-se pela utilização de 12%, dada a tendência de se expandir o sistema de colheita mecanizada.



As áreas com índices superiores a essa declividade encontram-se destacadas na Figura 4-14. Na mesma figura, apresentam-se também outras variáveis que foram incluídas no estudo, tais como as reservas indígenas, parques ecológicos, florestas protegidas por lei, áreas militares, etc.

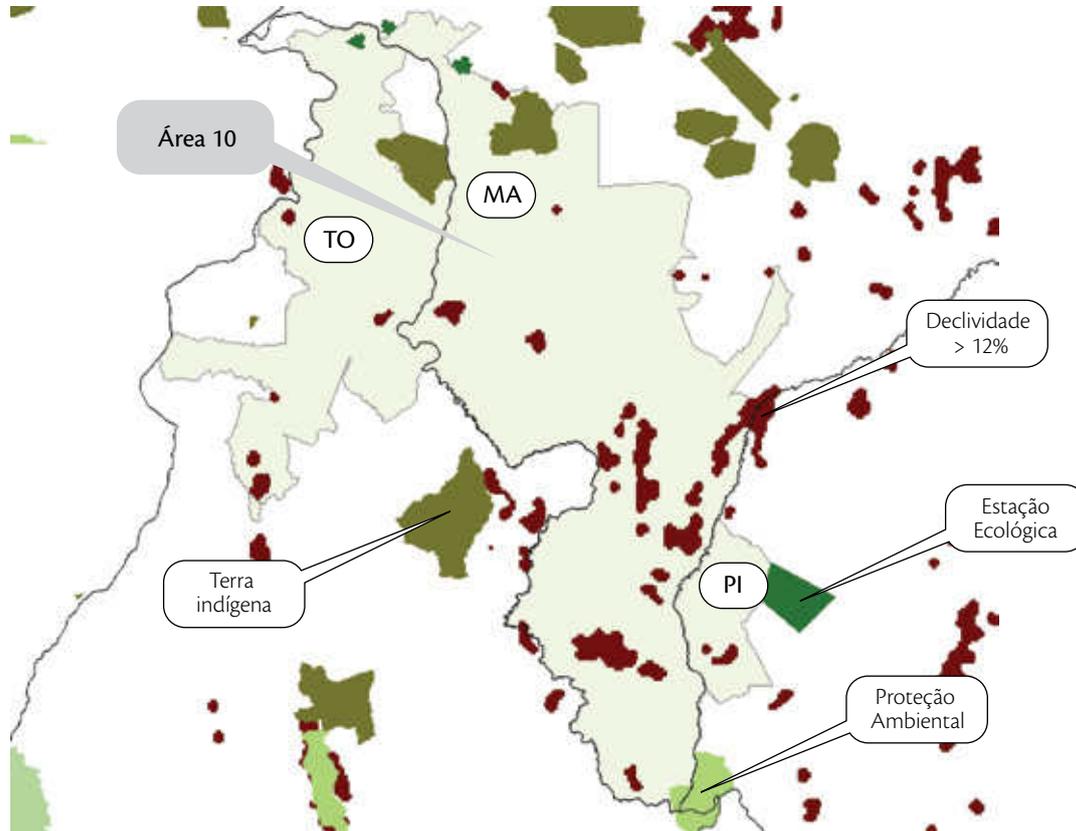


Figura 4-14: Área 10 - Declividade e outras reservas

4.2.7.2. Resultados e Discussão

Dentro da área estudada, foram quantificadas as áreas de cada tipo de solo, dos rios principais, de terras indígenas e de áreas de preservação ambiental (APA).

A unidade de maior ocorrência, com 1.421.784 ha, apresenta solos de potencial de produção médio a baixo, devido às suas características de baixa fertilidade natural e de média a baixa capacidade de

armazenamento de água. Estas características mostram a necessidade de um maior cuidado quanto ao uso destes solos para o plantio de cana-de-açúcar.

A segunda unidade mais representativa, com 1.121.380 ha, compreende solos com características de profundidade e relevo impróprios para o plantio da cana-de-açúcar (relevo suave ondulado a montanhoso com afloramento de rochas).

A unidade com solos de maior potencial de produção dispõe de apenas 69.901 ha, apresentando maior ocorrência na região de Estreito e Porto Franco no Maranhão. Ocorrem em áreas descontínuas, intercalando-se com solos de baixo potencial ou impróprios para plantio. Parte deste solo já se encontra com cana-de-açúcar de uma usina da região.

A terceira unidade mais representativa, com 914.888 ha, apresenta potenciais de produção de médio a alto e suas características de relevo (plano a suave ondulado), bem como a distribuição espacial, faz desta unidade a mais favorável para o plantio de cana-de-açúcar na região estudada.

Em visita a uma usina com solos equivalentes ao potencial de produção de médio a alto, observou-se que o principal fator a ser considerado na implantação de canaviais nesta situação é a deficiência hídrica. Em conversa com agrônomo desta usina, foi informado que utiliza-se irrigação em praticamente toda a área cultivada. Isto é possível com o bombeamento de água da baixada para a chapada, em um desnível de cerca de 150 metros de coluna d'água. Outro fator a ser considerado é a escolha de variedades de cana-de-açúcar, pois a maioria delas apresenta florescimento nesta situação. Um estudo preliminar, com ensaios de variedades de cana-de-açúcar e troca de informações com institutos de pesquisa e usinas em situação semelhante, é recomendável para uma melhor definição do manejo varietal a ser utilizado.

A soma das áreas com possibilidade de cultivo de cana-de-açúcar é de 2.696.795 ha (30,1 % da área estudada), que corresponde às áreas com potencial de produtividade Alto a Médio/Baixo, como se observa na Tabela 4.2-1. Retirando-se as áreas destinadas como reserva legal (20%), o potencial de produção total de cana-de-açúcar na Área 10 é estimado em 156,3 milhões de toneladas ao ano. Este volume corresponde à implantação de 78 destilarias padrão, capazes de produzirem, juntas, 13,3 bilhões de litros de bioetanol ao ano com a produtividade industrial atual em 85 litros por tonelada de cana moída.



Tabela 4.2-1: Potencial de produção de cana na Área 10

| Potencial | Área (ha) | Participação | Produtividade (t/ha/ano) | Potencial de produção ¹ (Mt/ano) |
|----------------|------------------|---------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| Alto | 69.901 | 0,8% | 81,4 | 4,6 |
| Médio/Alto | 914.888 | 10,1% | 77,3 | 56,6 |
| Médio | 188.534 | 2,4% | 73,1 | 11,0 |
| Médio/Baixo | 1.523.472 | 16,8% | 69,0 | 84,1 |
| Baixo | 3.925.659 | 43,1% | 0,0 | 0,0 |
| Impróprio | 1.709.599 | 18,9% | 0,0 | 0,0 |
| Reserva (APA) | 451.002 | 5,0% | 0,0 | 0,0 |
| Terra Indígena | 265.256 | 2,9% | 0,0 | 0,0 |
| Total | 9.048.312 | 100,0% | 72,4² | 156,3 |

¹ Foram subtraídos 20% da área disponível para área de reserva legal;

² Refere-se à média ponderada em relação às áreas que apresentam potencial de produtividade Alto, Médio/Alto, Médio e Médio/Baixo.

Dessa forma, com investimentos em infraestrutura, principalmente com relação às estradas, associados a projetos de irrigação de salvação ou período crítico, a região estudada tem potencial para ser uma nova fronteira de plantio de cana-de-açúcar.

Ressalta-se que o trabalho foi realizado com informações básicas (solo, relevo e clima) na escala de 1:500.000, implicando uma precisão média dessas informações. Para um maior detalhamento de áreas pré-selecionadas, como por exemplo, para a implantação de projetos executivos de novas unidades industriais ou escolha de áreas de expansão, há necessidade de caracterizações mais detalhadas (levantamentos pedológicos semidetalhados de alta intensidade ou mesmo detalhados), bem como obter dados climáticos em estações meteorológicas próximas às áreas de interesse. Desse modo, é possível determinar com precisão as áreas de maior potencial, inclusive o local mais apropriado para a alocação da planta industrial.

A estimativa inicial do potencial de produção de cana, contemplando as 17 áreas selecionadas, foi baseada em mapas de solo existentes (IBGE; Potencial de Produção de Cana-de-Açúcar - AVALIAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL, CTC, 16/09/2005). Estes mapas de solos, devido à escala (1:5.000.000) em que foram realizados os trabalhos pelo IBGE, são pouco detalhados e contêm informações de baixa precisão cartográfica; este material é o único disponível para todo Brasil com informações de solos. No estudo detalhado da Área 10, o trabalho realizado pelo Centro de Tecnologia Canaveira contou com equipes de campo que visitaram as áreas a serem mapeadas.

O estudo foi feito em uma escala de 1: 500.000 e produziu mapas na escala final de 1:1.000.000 e, portanto, mais detalhados do que os usados inicialmente. Devido a estas características técnicas (escalas de trabalho) das duas fases do trabalho é que os resultados de potencial de produção, agora apontados, apresentam divergências com o levantamento inicial. Cabe ressaltar que o estágio atual da agricultura brasileira ressen-te-se de mapas de solos mais detalhados para um melhor planejamento da produção.

Quanto à declividade, nota-se uma condição de relevo muito favorável para operações mecanizadas, bem como para a distribuição de vinhaça e água para as áreas localizadas nas chapadas ao sul do Maranhão e no Piauí. Também são encontradas áreas com relevo apropriado, abaixo das bordas das chapadas, próximas aos córregos e rios principais, principalmente o Rio das Balsas.

Nas áreas escarpadas e algumas regiões no norte do Tocantins e sudoeste do Maranhão, próximos ao Rio Tocantins, o relevo se apresenta mais movimentado, dificultando ou mesmo inviabilizando a utilização de máquinas e implementos agrícolas.

4.2.8. Aptidão agrícola

A aptidão agrícola é determinada pela intensidade de ocorrência de fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas agrícolas. São cinco os fatores tomados, tradicionalmente, para avaliar as condições agrícolas das terras: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimento à mecanização. Para cada fator limitante, foram considerados cinco graus de limitação: nulo(N), ligeiro(L), moderado(M), forte(F) e muito forte (MF).



4.2.8.1. Avaliação

A avaliação das classes de aptidão agrícola das terras foi feita por meio do estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos às terras e os estipulados no Quadro-Guia da SUPLAN/MA, EMBRAPA/SNLCS, elaborado para atender às regiões de clima subtropical. O Quadro-Guia constitui uma orientação para conversão das terras em grupos, subgrupos, classe e nível de manejo considerado.

Analisando o mapa de aptidão agrícola verificou-se uma diversidade muito grande de aptidões, assim como a ocorrência de solos. No entanto, ocorreu uma forte correlação com o mapa de potencial de produção de cana-de-açúcar (metodologia CTC).

Verificou-se, também, que as áreas com melhor aptidão condizem com as áreas de maior potencial e, as de pior aptidão estão compatíveis com as de menor potencial. Isso confere uma maior coerência e confiabilidade da metodologia utilizada pelo CTC para a obtenção do potencial de produção de cana-de-açúcar.

Os níveis de manejo considerado são indicados pelas letras A, B, e C. Esses níveis referem-se às práticas agrícolas adotadas pela maioria dos agricultores, num contexto específico, técnico, social e econômico, diagnosticando o manejo nestes três níveis tecnológicos. As letras podem aparecer na simbologia de classificação e escritas de diferentes formas: maiúsculas, minúsculas e minúsculas entre parênteses.

- **Nível de manejo A:** baseado em práticas agrícolas que refletem um baixo nível tecnológico;
- **Nível de manejo B:** baseado em práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio;
- **Nível de manejo C:** baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico.

Os Grupos e subgrupos de aptidão agrícola representam a atividade que possibilita o melhor aproveitamento das terras, e são os seguintes:

- 1, 2 e 3 – Lavouras. 1: Boa; 2: Regular e 3: Restrita;
- 4 – Pastagem plantada. Subgrupos: 4P: Boa; 4p: Regular e 4(p): Restrita;
- 5 – Pastagem natural ou silvicultura. Subgrupos: 5N ou 5S: Boa; 5n ou 5s: Regular e 5(n) ou 5(s): Restrita;
- 6 – Inapta.

Classes de aptidão agrícola:

- Boa – letras maiúsculas;
- Regular – letras minúsculas;
- Restrita - letras minúsculas entre parênteses;
- Inapta – ausência de letras.

Na Tabela 4.2-2, a seguir, encontram-se as combinações do exposto anteriormente.

Tabela 4.2-2: Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras

| Classes de Aptidão Agrícola | Tipo de Utilização | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----|-----|----------------------|--------------|---------------------|
| | Lavouras | | | Pastagem Plantada | Silvicultura | Pastagem Natural |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Nível de Manejo | | | | | |
| | A | B | C | B | B | A |
| Boa | A | B | C | P | S | N |
| Regular | a | b | c | p | S | n |
| Restrita | (a) | (b) | (c) | (p) | (s) | (n) |
| Inapta | - | | | - | - | - |



4.2.8.2. Resultados e discussão

A reunião dos diversos tipos de solos em cada uma das classes de aptidão agrícola e suas respectivas áreas pode ser observada na Tabela 4.2-3. Verifica-se que a soma dos percentuais (Tabela 4.2-4) das classes de aptidão agrícola 1 (Boa para lavouras), 2 (Regular para lavouras) e 3 (Restrita para lavouras) perfazem um total de 42,7% de área que poderá ser destinada ao plantio de cana-de-açúcar na área de estudo, desde que se utilize métodos de irrigação. Em comum, estas áreas estão localizadas em situações favoráveis à mecanização da cultura de cana, dentre outras características analisadas.

Adicionalmente, poderá ser utilizada para plantio de cana-de-açúcar a área de aptidão agrícola pastagem plantada (30,5%; Tabela 4.2-4), desde que observada que esta área deverá receber tecnologia de manejo diferenciada (irrigação, drenagem, etc), dependendo da restrição encontrada em cada uma das sub-classes. Um exemplo é a sub-classe 4(p) f, a, e + com 524,35 mil ha (Tabela 4.2-3) cujas restrições são f= fertilidade, a= deficiência de água e e= susceptibilidade à erosão.

A soma das quatro principais classes de aptidão agrícola, 1 (Boa para lavouras), 2 (Regular para lavouras), 3 (Restrita para lavouras) e 4 (Pastagem plantada) poderá atingir um total de 73,2% da área de estudo destinada à produção de cana-de-açúcar, observadas as restrições individuais das subclasses da classe pastagem plantada.

Tabela 4.2-3: Subclasses de aptidão agrícola das terras

| Aptidão Agrícola | | | Área (1.000 ha) | Participação (%) |
|------------------|---------|----|-----------------|------------------|
| 1aBc | e,m | - | 69,9 | 0,8 |
| 2(b)c | f | | 1.103,4 | 12,2 |
| 2(b)c | f | - | 1.522,5 | 16,8 |
| 3(a) | m | -+ | 683,9 | 7,6 |
| 3(b) | f,m | - | 84,6 | 0,9 |
| 3(bc) | f,m | | 334,6 | 3,7 |
| 3(bc) | f,m | - | 65,9 | 0,7 |
| 4P | f,m | - | 139,6 | 1,5 |
| 4P | f,o,m | -+ | 254,6 | 2,8 |
| 4p | f,e,m | | 7,5 | 0,1 |
| 4p | f,e,m | + | 53 | 0,6 |
| 4p | f,e,m | -+ | 86,7 | 1,0 |
| 4(p) | f,a,e | | 592,6 | 6,5 |
| 4(p) | f,a,e | + | 524,3 | 5,8 |
| 4(p) | f,a,e | - | 544,2 | 6,0 |
| 4(p) | f,a,e | -+ | 555,1 | 6,1 |
| 5(n) | F,a,e,m | | 9,2 | 0,1 |
| 5(n) | F,a,e,m | + | 53,1 | 0,6 |
| 6 | | | 54,0 | 0,6 |
| 6 | | + | 1.559,8 | 17,2 |
| APA | | | 451,0 | 5,0 |
| Rios | | | 33,5 | 0,4 |
| Terras Indígenas | | | 265,3 | 2,9 |
| Total | | | 9.048,3 | 100,0 |

f = deficiência de fertilidade

a = deficiência de água

o = excesso de água

e = susceptibilidade à erosão

m = impedimento à mecanização

- = com solos piores

+ = com solos melhores



Tabela 4.2-4: Classes de aptidão agrícola das terras

| Classes | Aptidão Agrícola | Área (1.000 ha) | Participação (%) |
|------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | Boa para lavouras | 69,9 | 0,8 |
| 2 | Regular para lavouras | 2.625,9 | 29,0 |
| 3 | Restrita para lavouras | 1.169,0 | 12,9 |
| 4 | Pastagem plantada | 2.757,6 | 30,5 |
| 5 | Pastagem natural ou Silvicultura | 62,4 | 0,7 |
| 6 | Sem aptidão agrícola | 1.613,7 | 17,8 |
| APA | | 451,0 | 5,0 |
| Rios | | 33,5 | 0,4 |
| Terras Indígenas | | 265,3 | 2,9 |
| Total | | 9.048,3 | 100,00 |

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. PROJETO RADAM, volume 1; folha SC23/24. Rio de Janeiro, 1973. Paginação irregular.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. PROJETO RADAM, volume 2; folha SB23/24. Rio de Janeiro, 1973. Paginação irregular.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. PROJETO RADAM, volume 4; folha SB/SC22. Rio de Janeiro, 1974. Paginação irregular.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, (CTC) – Avaliação de Áreas com Potencial para Produção de cana-de-açúcar no Brasil – Relatório Técnico de Transferência de Tecnologia, Revisão 1, 14p. (2005).
- CENTRO DE TECNOLOGIA COPERSUCAR - CTC (hoje Centro de Tecnologia Canaveira) 2000. Relatório Anual 1997/1998
- DONZELLI, J. L. – Comunicação pessoal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2002, (CTC-Copersucar, 1997).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306 p.
- EMBRAPA 2006; “Experimento em cana-de-açúcar”; Embrapa Informática Agropecuária; em <http://72.14.209.104/search?q=cache:UGF1GpjAGhgJ:www.cnptia.embrapa.br/projetos/ipi/ipi/homepage/cana.html+uso+fertilizante+cultura+cana&hl=pt-R&gl=br&ct=clnk&cd=1>
- EMBRAPA Solos UEP - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA e SECRETARIA DE PRODUÇÃO RURAL E REFORMA AGRÁRIA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco – ZAPE. Recife. Agosto de 2002.
- FO LICHT. World Ethanol & Biofuels Report 2006; vários números.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO, 2008. (ref. pág. 131).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2007, “Produção Agrícola Municipal de 2005”. <www.ibge.gov.br>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). SIDRA, Banco de Dados Agregados. Acesso através de <http://www.sidra.ibge.gov.br>; Fevereiro, Março e Abril 2008.



- _____. Mapa de Biomas do Brasil. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO. 2004
- JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO (07/02/2007) – Caderno Dinheiro - Notícia : País precisa de cem novas usinas de bioetanol até 2010,jornalistas:Janaína Lage; Mauro Zafalo. Site Folha de São Paulo: www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u114318.shtml
- MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA - União da Agroidústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.urbanizacao.cnpem.br>>. Acesso em: 17 ago. 2009.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4. ed. - Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5a Ed Revisada e ampliada.Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.il.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA) – Estatísticas da produção de cana, álcool e açúcar no Brasil. site UNICA - <http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=refer%EAncia>

The background of the slide features a lush green cornfield. Overlaid on this is a semi-transparent network diagram consisting of circular nodes connected by thin lines, suggesting a complex infrastructure or data network. The overall color palette is various shades of green.

Infraestrutura existente e
projetos de melhorias



5. Infraestrutura existente e projetos de melhorias

Outro fator de fundamental importância para viabilizar as possibilidades de exportação de grandes quantidades de bioetanol refere-se às condições de infraestrutura para o escoamento da produção. O sistema logístico adotado, visando ao mercado externo, é essencial para garantir que o produto possa ser colocado nos países importadores em condições competitivas. Naturalmente, a infraestrutura e a logística atual do país não seriam suficientes para escoar a produção de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano, volume considerado no cenário deste estudo. Faz-se necessário, então, um novo desenho logístico que confira a melhor competitividade possível em termos do custo de transporte, com agilidade e segurança, destacando-se o transporte dutoviário como modal mais adequado para esse propósito.

Para viabilizar o sistema produtivo e a respectiva logística de escoamento, recomenda-se agrupar as destilarias em *clusters*, de tal modo que cada *cluster* contemple pelo menos 15 destilarias padrão, produzindo 2,55 bilhões de litros ao ano e ocupando uma área cultivada de cana-de-açúcar de 420.000 ha, que proporcionaria 105.000 ha de área de reserva legal.

O investimento necessário para instalar um sistema dutoviário, capaz de escoar 259 bilhões de litros de bioetanol ao ano, é estimado em US\$ 14,5 bilhões, destinados à construção dos dutos, dos terminais aquaviários e dos centros coletores. A implantação de um projeto logístico adequado faria com que o custo do transporte interno (isto é, da região produtora até o porto nacional), em torno de US\$ 45 a US\$ 70 por m³, pudesse ser reduzido para US\$ 30, ou seja, uma redução de quase 50% (valores referentes a 2007).

5.1. Infraestrutura existente e projetos de melhorias

5.1.1. Introdução

Essa parte do trabalho apresenta as alternativas para o transporte e a infraestrutura necessárias para viabilizar, até 2025, a exportação de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano (cenário analisado em todo o estudo). As necessidades internas de construção de coletores e terminais e os custos relativos a estas necessidades são contemplados também.

Inicialmente, apresenta-se a matriz de transporte nacional, comparada a países de dimensões similares. O Plano de Aceleração do Crescimento será citado, uma vez que ganha importância quanto aos investimentos na área de logística. Em seguida, são apresentados cenários de distribuição da produção de bioetanol para exportação, nos anos 2015 e 2025, tomando como base o estudo realizado no Capítulo 6, incluindo os alocações em cada área.

Como os volumes de produção de bioetanol considerados são muito elevados, o transporte por dutos configura-se no modal com menor custo. Para viabilizá-lo, foram definidos, neste estudo, arranjos de pelo menos 15 destilarias-padrão, chamadas de *cluster*, de tal modo que um cluster demandaria uma área de 420.000 ha plantados com cana-de-açúcar (e mais 105.000 ha como área de reserva legal), moendo 30 milhões de toneladas de cana ao ano, e produzindo 2,55 bilhões de litros de etanol.

Com a finalidade de atender o cenário de exportação de 205 bilhões de litros de bioetanol em 2025, um sistema de transporte multimodal complementar (transporte hidroviário, ferroviário e rodoviário) seria imprescindível, com prioridade para o transporte dutoviário, que é o modal que apresenta o menor custo de transporte e o menor impacto ambiental.

Estão incluídas tabelas e mapas para melhor entendimento e visualização das necessidades de infraestrutura logística nas áreas selecionadas, tanto para a expansão da produção como para a exportação de etanol. A distribuição regional dessa expansão é apresentada, constituindo-se em informação essencial para os impactos macroeconômicos e socioeconômicos analisados nos capítulos 6 e 7, respectivamente.

A integração desses modais de transporte exige investimentos para a sua adequação aos volumes crescentes de exportação de bioetanol esperados, além da necessidade de atender a demanda do mercado interno, estimada em 54 bilhões de litros de bioetanol em 2025. O escoamento da produção do interior do país (principalmente a partir das regiões Centro-Oeste e Nordeste) para o exterior poderia ser feita a partir de seis portos brasileiros.

O levantamento dos terminais marítimos, portos e hidrovias, afetados pela exportação do montante citado, são abordados após a apresentação da distribuição e desenho logístico determinados para o escoamento do bioetanol para exportação.



5.1.2. Infraestrutura atual e matriz de transporte

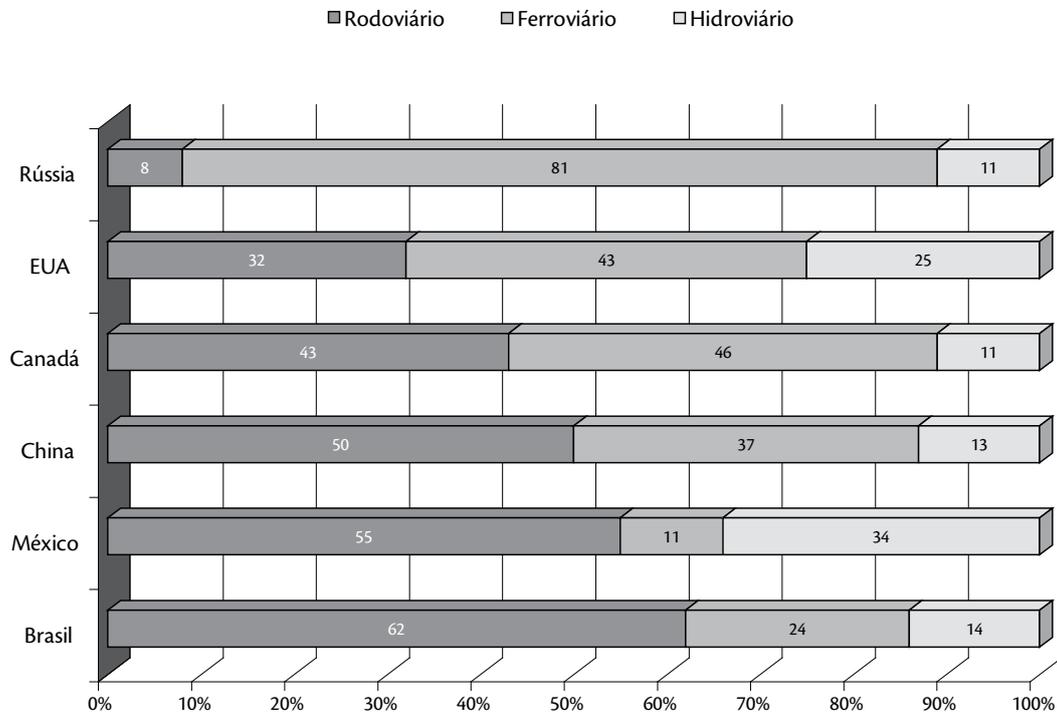
O transporte de bioetanol no país por meio de dutos é praticamente insignificante, não tendo alcançado 2% do total transportado em 2007. O modal rodoviário, por sua vez, responde por cerca de 90% do escoamento do combustível renovável. Em 1981, essa última modalidade representava apenas 37% do transporte de etanol, e os dutos, 12%. A ferrovia e hidrovia participavam com 33% e 22%, respectivamente. Tal domínio do transporte rodoviário mostra-se completamente incompatível com os volumes de bioetanol para exportação considerados no cenário do trabalho realizado.

O crescimento das exportações de etanol, verificado a partir de 2003, passando de 0,8 bilhão de litros para cerca de 5,0 bilhões em 2008 (SECEX, 2009), expôs o déficit do país em relação à sua infraestrutura logística interna e externa, e não somente no que diz respeito ao escoamento de etanol.

A matriz de transporte de cargas no Brasil é altamente concentrada no modal rodoviário. Nos últimos cinco anos, esse modal tem se mantido em cerca 60% do total das cargas transportadas, seguido pelo modal ferroviário. O modal aquaviário é pouco significativo, quando comparado a outros países com dimensões similares à do Brasil, conforme apresentado no Gráfico 5.-1.

O governo brasileiro está ciente da necessidade de ampliação do transporte multimodal¹ e da sua importância para viabilizar a interiorização do desenvolvimento econômico do país.

1 O Transporte Multimodal de Cargas é aquele realizado por um único contrato, executado por um único Operador de Transporte Multimodal – OTM e utiliza duas ou mais modalidades de transporte (rodoviária, ferroviária, hidroviária, dutoviária, aérea, etc.), desde a origem até o destino. A Legislação Multimodal data de 1998, Lei 9.611, porém, somente a partir de 2005 os operadores multimodais passaram a ser habilitados para operar pela Agência Nacional de Transportes Terrestres-ANTT. Em 2007, somavam-se 258 operadores multimodais habilitados no país (NUNES, 2007).

Gráfico 5-1: Comparativo da Matriz de Transporte de Cargas 2007


Fonte: Ministério dos Transportes e ANTT (2008)

5.1.3. Alternativas de transporte para cada *cluster* levando em consideração a infraestrutura existente ou planejada

Para exportar 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano, as alternativas de transporte para o escoamento a partir de cada área selecionada e respectivos *clusters* consideram a infraestrutura existente e os planos recentemente divulgados.

5.1.3.1. O Plano de Aceleração do Crescimento (PAC)

O desenho logístico elaborado para este estudo, no qual a exportação de bioetanol alcançaria 205 bilhões de litros ao ano em 2025, considera o Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) divulgado



pelo governo federal em janeiro de 2007. Inserem-se, ainda, alguns dados relevantes para este projeto apresentados nos balanços do PAC em 2008 e fevereiro de 2009.

A nova logística para o escoamento prioriza as dutovias e a multimodalidade de transporte, utilizando, complementarmente, os modais hidroviário, ferroviário e, quando necessário, o rodoviário. Analisou-se, também, a situação dos portos marítimos e as hidrovias inseridas no estudo, bem como os terminais de estocagem e coletores que estão sendo construídos visando a expansão da capacidade exportadora de bioetanol do país.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) prometeu dispor, inicialmente, de R\$ 503,9 bilhões em recursos da União, das estatais e de empresas privadas para a execução de projetos de infraestrutura entre 2007 e 2010 para três eixos denominados de logística, energética e social e urbana. Deste montante, R\$ 58,3 bilhões destinam-se a projetos de logística distribuídos nas cinco regiões do país. Os demais 88,4% estão distribuídos entre os eixos energético e social e urbano, com montantes de R\$ 274,8 bilhões e R\$ 170,8 bilhões, respectivamente.

Em 2008, foram adicionados ao PAC, para o mesmo período de 2007-2010, investimentos da ordem de R\$ 143,1 bilhões, totalizando R\$ 646 bilhões. A área de logística deverá receber mais R\$ 37,7 bilhões, perfazendo um total de R\$ 96,0 bilhões. O eixo energético será acrescido com R\$ 295,0 bilhões e o social e urbano, com R\$ 255,0 bilhões.

Na área de transportes, o PAC engloba, inicialmente, 69 obras de construção e recuperação de 45.337 quilômetros de rodovias e de 2.518 quilômetros de ferrovias. Inclui a modernização de 12 portos marítimos, a construção de 67 portos fluviais e da eclusa de Tucuruí, esta última de especial interesse para o cenário analisado neste trabalho² por permitir o acesso ao Porto de Vila do Conde. Na Figura 5.3-2, destaca-se, circulado em azul, o Porto de Vila do Conde e a Eclusa de Tucuruí, ambos no estado do Pará, região Norte do país.

Durante o balanço do segundo ano do PAC, no início de 2009, foi confirmado um acréscimo, após 2010, de R\$ 502,2 bilhões, elevando as verbas para um total de R\$ 1,148 trilhão. No total, o eixo da logística receberá R\$ 132 bilhões, o eixo da área energética R\$ 759 bilhões e o social e urbana, R\$ 257 bilhões.

2 As projeções são abordadas mais adiante, no item 5.1.4.3.

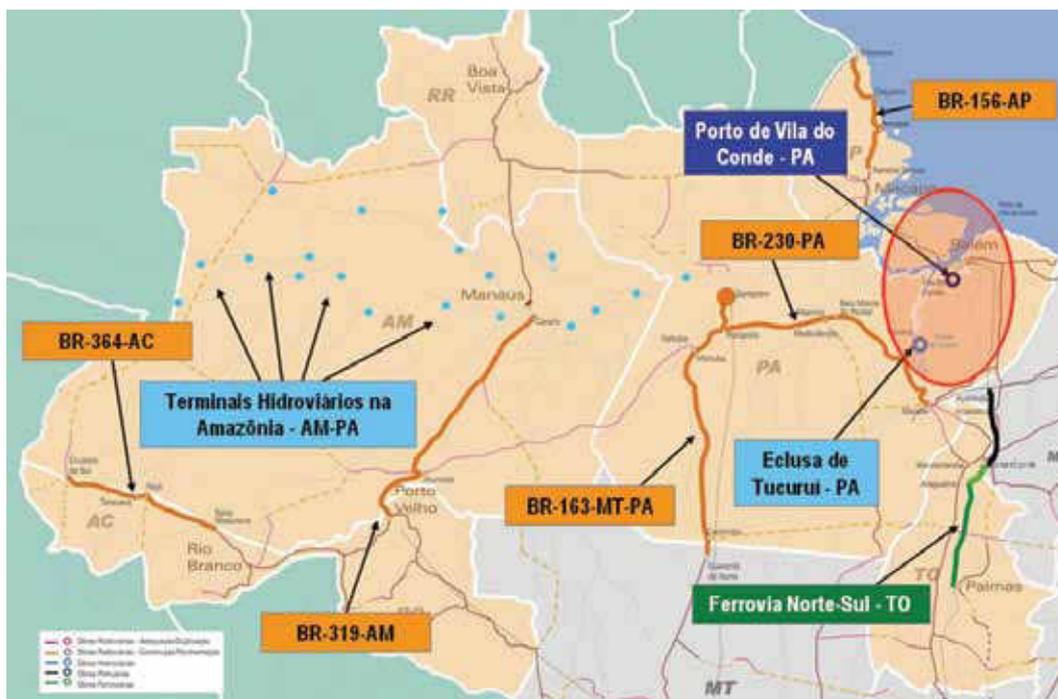


Figura 5-2: Porto Vila do Conde e Eclusa de Tucuruí (PA)

Fonte: Ministério da Fazenda (2007)

O relatório do Banco Mundial (2007) mostra que o Brasil precisaria investir 3,2% do Produto Interno Bruto (PIB) em infraestrutura para acompanhar o crescimento econômico do país. O próprio governo reconhece essa limitação, mesmo porque do montante de investimentos previstos no PAC até 2010, cerca de 41% serão da participação da iniciativa privada. Os investimentos do governo federal em infraestrutura foram 0,64% do PIB em 2006, 0,73% em 2007 e 1% em 2008. Embora com tendência de alta, o investimento nesta área encontra-se muito aquém das necessidades do país.

5.1.3.2. A Petrobras Transportes S.A. – Transpetro

No que diz respeito ao curto e médio prazos para a exportação do etanol, dados do final de 2007 indicavam que a Petrobras-Transpetro estaria preparada para escoar até 8 bilhões de litros em 2012, com investimentos de cerca de US\$ 800 milhões. No início de 2009, os planos da estatal juntamen-



te ao de outros atores, apontam para uma capacidade exportadora de cerca de 20 bilhões de litros, com investimentos de US\$ 2 bilhões.

A primeira etapa do projeto da Petrobras-Transpetro é a construção de um duto dedicado ao escoamento de bioetanol da Replan (SP) até o Terminal Ilha D'Água (RJ), com capacidade de quatro bilhões de litros anuais. A segunda etapa, com a mesma capacidade de escoamento da primeira etapa, visa transportar o bioetanol produzido na região oeste do estado de São Paulo e leste do Mato Grosso do Sul. Inclui a construção de um duto de 90 quilômetros, o uso da hidrovía Tietê-Paraná e a construção de três terminais.

A terceira corresponde ao trecho que vai de Ribeirão Preto (SP) a Uberaba (MG) e, a última etapa, à construção de um duto de Senador Canedo (GO) a Uberaba (MG), um duto de 90 km de Guararema (SP) ao Porto de São Sebastião (SP) e outro de 270 km até Ilha d'Água, no Rio de Janeiro. O esforço, mesmo que significativo, não satisfaz a necessidade de escoamento considerada no cenário desse trabalho.

O projeto da Companhia Brasileira de Energia Renovável, a Brenco, tem planos para construir uma dutovia ligando o Alto do Taquari, no sul do Mato Grosso, ao porto de Santos, em São Paulo. São 1.164 km de dutos que variam de 12 a 22 polegadas de diâmetro, com investimentos previstos de US\$ 1,3 bilhão. Com isso, a capacidade exportadora do grupo, que conta com dez usinas, será de cerca de 4 bilhões de litros de bioetanol ao ano.

Um outro projeto entre a Copel e produtores de bioetanol do Paraná e a Petrobras-Transpetro, diz respeito à construção de um duto de 528 km dedicado ao transporte de etanol. Com início em Campo Grande, no Mato Grosso do Sul, o duto passaria por Londrina, no norte Paraná, e seguiria rumo a Curitiba, chegando até o porto de Paranaguá (PR). O projeto, ainda em estudo, foi avaliado em R\$ 638 milhões em 2007.

5.1.4. Detalhamento da distribuição da produção de bioetanol e vias de escoamento para exportação

No capítulo 4, item 4.1 (Avaliação das áreas potenciais), foi apresentada, para 2025, uma projeção de 80,2 Mha aptos e disponíveis para o cultivo de cana nas 17 áreas selecionadas (Tabela 4.1-7), que poderiam produzir 434,6 bilhões de litros de bioetanol ao ano, supondo-se um aumento médio na produtividade agrícola de 40,5% e com a produtividade industrial atual (Tabela 4.1-8).

A partir dessas informações, iniciou-se a distribuição da produção dos 205 bilhões de litros de bioetanol que seriam exportados em 2025. De acordo com o cenário construído para essa expansão³, em 2015 o país teria uma capacidade exportadora de 63,8 bilhões de litros do combustível, adicionando mais 141,2 bilhões até 2025.

Para a devida distribuição das áreas selecionadas e os volumes a serem exportados, estudaram-se as opções logísticas existentes para curto e médio prazos, com base no PAC, lançado em 2007, e as perspectivas da Petrobras Transportes S.A. – Transpetro.

5.1.4.1. Distribuição da produção de etanol

A distribuição da produção e escoamento nas áreas selecionadas contempla espaços temporais de 10 e 20 anos, contados a partir de 2005. Inicialmente, a exportação de bioetanol aconteceria a partir das áreas selecionadas mais próximas da infraestrutura existente, principalmente no que diz respeito às hidrovias e ferrovias, embora o estudo priorize o transporte dutoviário devido aos benefícios ambiental e econômico deste modal, como também ao volume a ser transportado.

Outra premissa importante do trabalho é a distribuição regional da produção, almejando desenvolver áreas menos privilegiadas e que tem potencial para a expansão da produção de cana-de-açúcar e etanol. O objetivo é que, do total da produção, as regiões Norte e Nordeste participem com cerca de 40% da produção, sendo os 60% restantes produzidos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, esta última incluindo somente uma parte do estado de Minas Gerais.

Dessa maneira, seria evitada a expansão da produção em estados como São Paulo e Paraná, que concentram atualmente mais de 60% da produção de cana-de-açúcar e bioetanol do país.

Com essas orientações e conhecidos os potenciais das áreas aptas e disponíveis, procedeu-se à distribuição regional da produção para 2015 e 2025 para atender à exportação do cenário avaliado (205 bilhões de litros ao ano em 2025). A região N-NE, em 2015, participaria com 33,8% da produção de 63,8 bilhões de litros de bioetanol (Tabela 5.1-1) e com 44,9% do total da produção de 205 bilhões de litros, em 2025.

³ O detalhamento da construção de cenários encontra-se no Capítulo 6.



Tabela 5.1-1: Produção regional de bioetanol para exportação

| Região | Produção (bilhões de litros) | | Participação regional | |
|--------------|------------------------------|--------------|-----------------------|---------------|
| | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 |
| Norte | 4,1 | 10,2 | 6,4% | 5,0% |
| Nordeste | 17,5 | 81,8 | 27,4% | 39,9% |
| Centro-Oeste | 31,5 | 85,1 | 49,4% | 41,5% |
| Sudeste | 10,7 | 27,9 | 16,8% | 13,6% |
| Sul | 0,0 | 0,0 | 0,0% | 0,0% |
| Total | 63,8 | 205,0 | 100,0% | 100,0% |

A produção de bioetanol para os mesmos períodos, por área selecionada e por estado, encontra-se na Tabela 5.1-2. A tabela inclui, também, a quantidade de *clusters* em cada área, entendendo-se o *cluster* como o conjunto de quinze destilarias no mínimo, que produzem, juntas, pelo menos 2,55 bilhões de litros de bioetanol ao ano, viabilizando os investimentos em infraestrutura local para a instalação de dutos para o transporte de etanol.

Tabela 5.1-2: Distribuição da produção de bioetanol nas 17 áreas

| Área | U.F. | Ano 10 (2015) | | Ano 20 (2025) | |
|--------------|----------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| | | Produção (bilhões de litros) | Nº Clusters | Produção (bilhões de litros) | Nº Clusters |
| Área 1 | MT | 0,0 | 0,0 | 12,8 | 5,0 |
| Área 2 | MT | 0,0 | 0,0 | 12,7 | 5,0 |
| Área 3 | MT | 0,0 | 0,0 | 2,6 | 1,0 |
| Área 4 | GO | 2,6 | 1,0 | 5,1 | 2,0 |
| Área 5 | MS | 2,6 | 1,0 | 2,6 | 1,0 |
| Área 6 | MS/GO | 15,2 | 6,0 | 30,5 | 12,0 |
| Área 7 | MG | 7,7 | 3,0 | 15,4 | 6,0 |
| Área 8 | CE/PB/RN | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Área 9 | BA/MG/PI | 0,0 | 0,0 | 28,7 | 11,3 |
| Área 10 | MA/TO/PI | 7,7 | 3,0 | 27,5 | 10,8 |
| Área 11 | TO/GO | 2,6 | 1,0 | 2,6 | 1,0 |
| Área 12 | GO | 10,1 | 4,0 | 17,8 | 7,0 |
| Área 13 | BA | 0,0 | 0,0 | 7,6 | 3,0 |
| Área 14 | BA/MG | 5,6 | 2,2 | 24,0 | 9,4 |
| Área 15 | BA/MG | 0,0 | 0,0 | 2,6 | 1,0 |
| Área 16 | BA/SE | 9,7 | 3,8 | 12,5 | 4,9 |
| Área 17 | RR | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | | 63,8 | 25,0 | 205,0 | 80,4 |



5.1.4.2. Escoamento da produção de bioetanol – Ano 10 (2015)

A partir dos dados da Tabela 5.1-2, idealizou-se o esquema logístico apresentado no mapa a seguir (Figura 5-3), ou seja, o caminho do escoamento da produção de 63,8 bilhões de litros de bioetanol no ano 10 (2015) para exportação. A figura indica, também, a estimativa do custo do transporte em cada área selecionada até o porto.

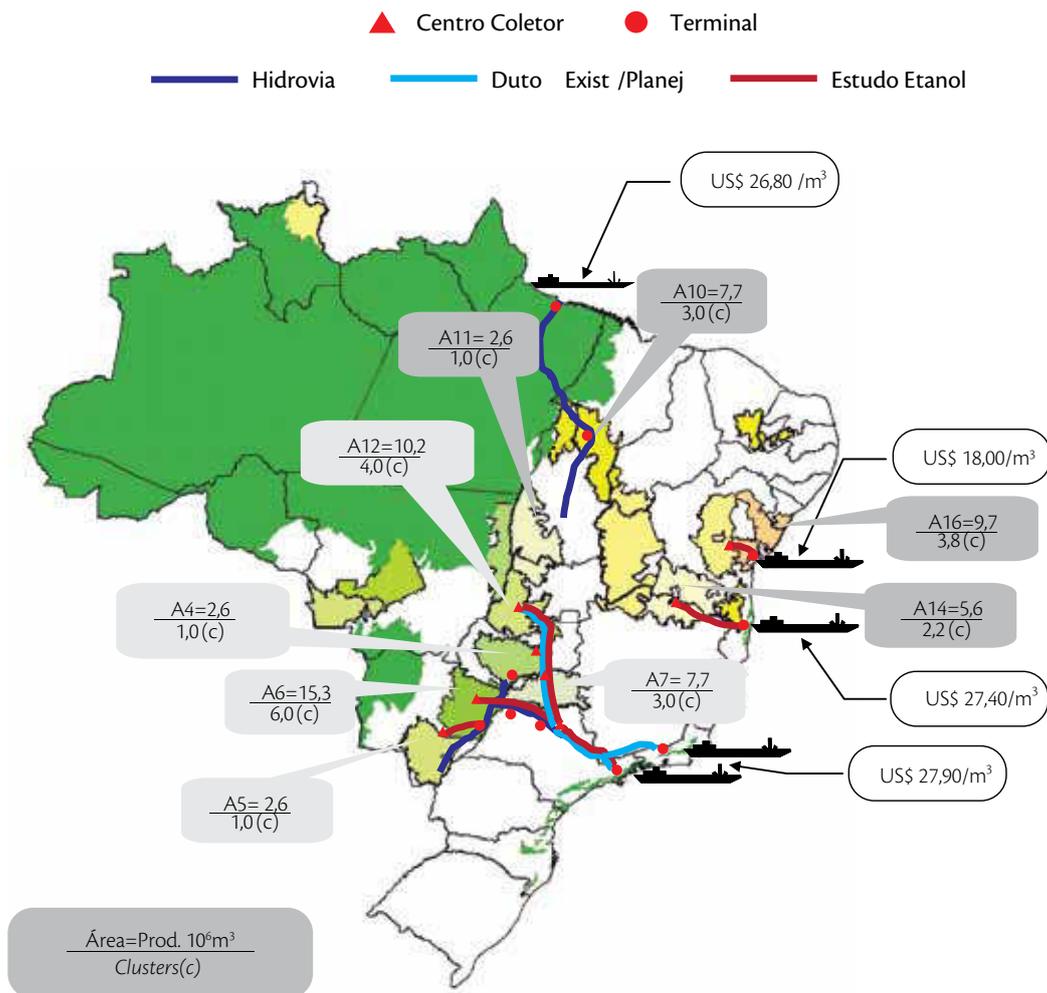


Figura 5-3: Desenho logístico para exportação – Ano 10 (2015)

Fonte: Adaptação do esquema recebido da Petrobras-Transpetro

Em 2015, a exportação do bioetanol produzido seria realizada por cinco portos principais:

- 1 São Sebastião (SP)
- 2 Ilha d'Água (RJ)
- 3 Salvador (BA)
- 4 Ilhéus (BA)
- 5 Vila do Conde (PA)

A produção de 10,3 bilhões de litros anuais das áreas 10 e 11 poderiam ser escoadas pelas hidrovias Tocantins-Araguaia e o Rio Tocantins, passando pela represa de Tucuruí⁴, até o porto Vila do Conde (PA).

As Áreas 14 e 16 poderiam ter suas produções de 5,6 e 9,7 bilhões de litros, respectivamente, escoadas por meio de dutos a serem construídos, para chegarem aos portos de Ilhéus e Salvador.

As Áreas 12, 4 e 7, com volumes de 10,1, 2,6 e 7,7 bilhões de litros, respectivamente, fariam uso do novo alcoolduto, que seria paralelo ao oleoduto existente para o transporte de combustíveis pesados. Esse alcoolduto passaria pelas cidades de Senador Canedo (GO), Uberaba (MG), Ribeirão Preto (SP) e Paulínia (SP), até o porto de Caraguatatuba.

Em Paulínia (SP), unir-se-ia à produção das Áreas 6 e 5, com um total de 17,8 bilhões de litros, fazendo uso da hidrovia Tietê-Paraná e de alcoodutos a serem implementados, conforme o mapa apresentado anteriormente.

5.1.4.3. Escoamento da produção de bioetanol – Ano 20 (2025)

Para o ano 20 (2025), todas as áreas, exceto a Área 17 por estar muito distante da infraestrutura disponível, produziram os 205 bilhões de litros de bioetanol para serem exportados.

Quanto ao escoamento para exportação, seriam acrescentados mais dois portos:

- 1 Itaqui (MA)
- 2 La Plata (Argentina)

⁴ A eclusa deverá estar concluída até 2010, de acordo com o PAC (2007).



O mapa a seguir (Figura 5-4) apresenta o total de bioetanol que seria produzido em cada área e as vias correspondentes de transporte para a exportação. Pode-se observar que 43,0 bilhões de litros de etanol, relativos às Áreas 1, 11 e 10, seriam escoados pelos portos de Vila do Conde (PA) e Itaqui (MA). As Áreas 1 e 11 teriam acesso à hidrovia Tocantins-Araguaia por dutos, passando pela represa de Tucuruí para chegar ao porto Vila do Conde. Acompanhando a evolução da produção de etanol, dutos dedicados seriam construídos a partir da Área 10 até o porto de Itaqui, fazendo-se uso da “faixa de servidão” paralela à Ferrovia Carajás.

As Áreas 12, 3, 4, 6, 5 e 7, com um total de 74,0 bilhões de litros, poderiam fazer o escoamento por dutos e pela hidrovia Tietê-Paraná, chegando aos portos de São Sebastião (SP) e Ilha d’Água (RJ).

A Área 2 escoaria 12,7 bilhões de litros pela hidrovia dos rios Paraguai-Paraná até o porto de La Plata, na Argentina. Os 48,8 bilhões de litros correspondentes às Áreas 9, 13 e 16 utilizariam dutos dedicados para chegar ao porto de Salvador, na Bahia. A produção das Áreas 14 e 15, com um total de 26,6 bilhões de litros, alcançariam o porto de Ilhéus através de dutos.

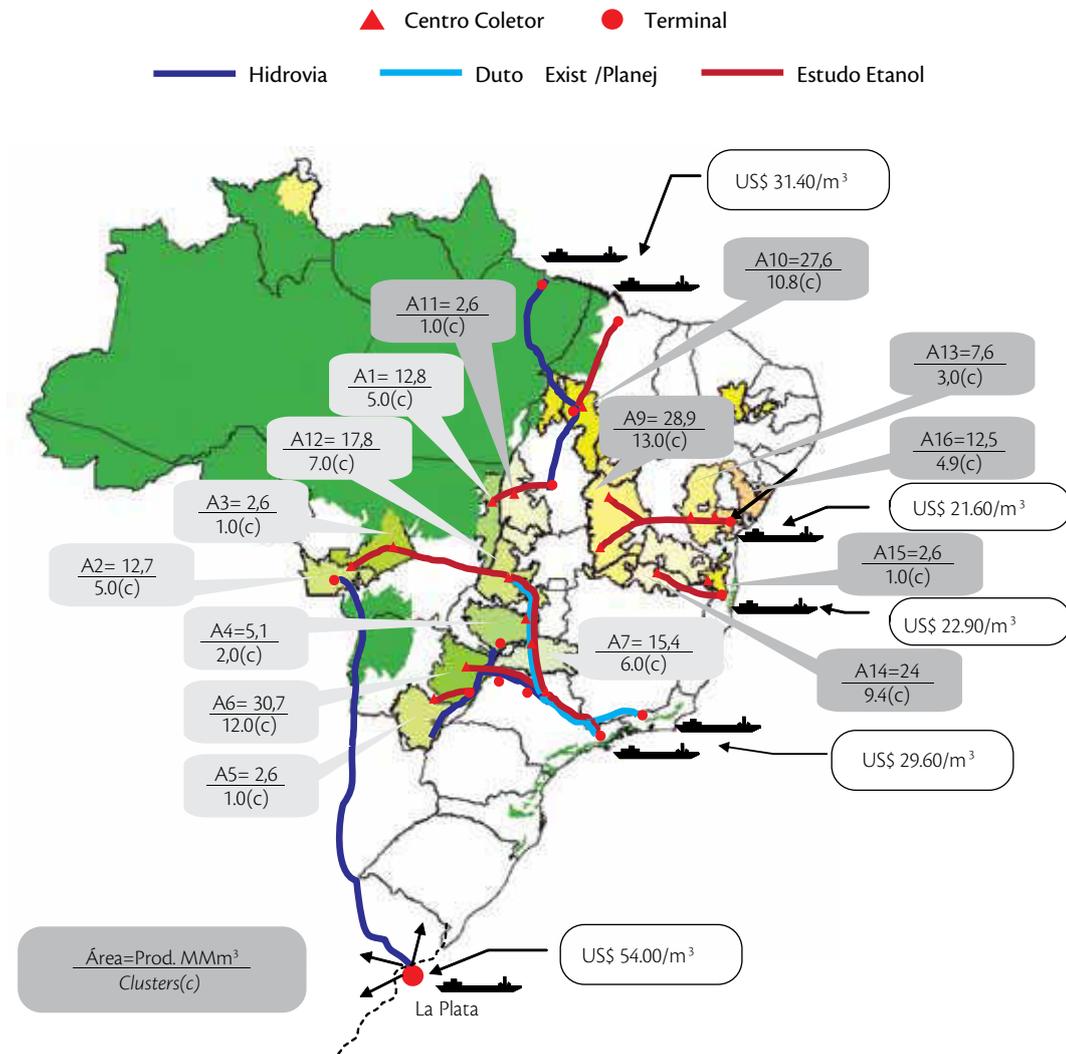


Figura 5-4: Desenho logístico para exportação de 205 bilhões de litros – Ano 20 (2025)

Fonte: Adaptação do esquema recebido da Petrobras-Transpetro



5.1.5. Levantamento da situação dos terminais marítimos afetados pela exportação de bioetanol e das necessidades de melhorias

A infraestrutura atual, relacionada ao transporte de bioetanol combustível do país, não apresentou grandes mudanças quando comparada à da época da criação do Proálcool, na década de 1970, embora o programa tivesse como objetivo o abastecimento do mercado interno. Ainda assim, no que diz respeito à distribuição interna do combustível, já havia a percepção de que o menor custo para o transporte de bioetanol era através de dutos.

Hoje são poucos os portos que apresentam infraestrutura adequada às necessidades crescentes de exportação de etanol, embora iniciativas de investimento nos terminais tenham sido viabilizadas para essa finalidade, incluindo a adequação dos portos e terminais, a exemplo do Terminal para Exportação de Álcool de Santos (TEAS), Stolthaven, também localizado em Santos (SP), e Pasa, em Paranaguá (PR), além da ampliação e construção de terminais para combustíveis líquidos em diversos portos do país.

Dos 35 principais portos exportadores do Brasil, 11 responderam por 91% do total das exportações nacionais em 2006; são eles: Itaqui, Salvador, Aratu, Vitória, Rio de Janeiro, Sepetiba, Santos, Paranaguá, São Francisco do Sul, Itajaí e Rio Grande.

No que diz respeito à exportação de etanol, a regiões Sul e Sudeste do país responderam, em 2007, por 86% do volume exportado. Destes, o porto de Santos participou com 70% dos embarques, seguido pelo porto de Paranaguá (Tabela 5.1-3).

Tabela 5.1-3: Participação dos Portos Brasileiros na Exportação de bioetanol em 2007

| Porto | Participação |
|---------------------|---------------|
| Santos (SP) | 70,0% |
| Paranaguá (PR) | 14,0% |
| Maceió (AL) | 8,0% |
| Recife (PE) | 4,5% |
| Rio de Janeiro (RJ) | 2,0% |
| Cabedelo (PB) | 1,1% |
| Outros | 0,4% |
| Total | 100,0% |

Fonte: Secex/SDP (2008) e UNICA (2008)

Os portos acima contam com estrutura instalada para o transporte de grânéis líquidos, podendo essa infraestrutura ser ampliada e/ou adaptada ao álcool, além de contar com instalações (tanques e dutos) para o álcool.

A seguir, são descritos dois exemplos dos investimentos para ampliar a capacidade exportadora de bioetanol a partir dos principais terminais e portos atuais de exportação para os próximos anos.

O Terminal para Exportação de Álcool Santos (TEAS) é resultado da parceria entre COSAN, Crystalsev, grupo Nova América e Cargil para a abertura de um terminal específico para exportação de etanol. A finalidade desse terminal é de prestação de serviços à exportação de álcoois a seus associados e outros agentes do mercado. É o primeiro passo importante na direção de evolução logística para álcoois carburantes. O TEAS conta com 40 milhões de litros de capacidade de armazenagem e será expandida para 80 milhões.

Paranaguá iniciou as obras do primeiro terminal público de bioetanol do país dedicado exclusivamente à movimentação deste combustível. O terminal paranaense contará com sete tanques com capacidade de armazenamento de 35 milhões de litros e em 48 horas poderá descarregar o bioetanol armazenado para o navio e recarregar os tanques. Com isso, 15 navios, de 35 milhões de litros cada, poderão ser carregados por mês no porto de Paranaguá. O investimento foi feito com recur-



dos da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), que investiu R\$ 13,7 milhões no terminal.

Os mapas apresentados nas Figuras 5.1-3 e 5.1-4 apontaram para os portos, terminais e principais hidrovias que poderiam fazer parte da logística de exportação de etanol, os quais são abordados a seguir com ênfase na localização, calado, navegabilidade atual e projetos para criação e/ou ampliação do fluxo no transporte de etanol.

O estudo foi realizado com base nos dados apresentados nos Relatórios Executivos do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) de 2007 e atualizado com dados do Balanço do PAC de 2008 e do Ministério de Transporte através da ANTT e ANTAQ (2008 e 2009).

São seis os portos considerados para a expansão da exportação de bioetanol em 2025: na região Norte, porto Vila do Conde, no estado do Pará; na região Nordeste, porto de Itaqui, no Maranhão, e os portos de Salvador e Ilhéus, na Bahia; na região Sudeste, os portos são Ilha d'Água, no Rio de Janeiro, e de São Sebastião, no estado de São Paulo. Adicionalmente, o Porto de Santos é citado devido à sua importância na exportação atual de etanol.

Quanto às hidrovias, as principais a serem abordadas, de acordo com as figuras citadas, são a hidrovia Araguaia-Tocantins, Tietê-Paraná e Paraguai e Paraguai-Paraná.

Os portos fazem parte do sistema aquaviário e desempenham papel estratégico para a integração regional no transporte de mercadorias e passageiros, seja utilizando a costa do país – cabotagem – ou através dos mares abertos, interligando diferentes países. A navegação interior compreende os rios e lagos, tendo as hidrovias como via de comunicação. A Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), ligada ao Ministério dos Transportes, é responsável pelo sistema aquaviário do país (NUNES, 2007 e Ministério dos Transportes, 2008).

5.1.5.3.1. Porto de Vila do Conde, Pará

Localizado na região Norte do país, situa-se no município de Barcarena, no Pará, na margem direita do rio Pará, na confluência dos rios Amazonas, Tocantins, Guamá e Capim.

O Porto Vila do Conde foi inaugurado em 1985 como resultado do acordo de cooperação econômica firmado entre o Brasil e o Japão. O governo brasileiro responsabilizou-se pela infraestrutura por-

tuária, rodoviária e urbana, visando ao escoamento do alumínio produzido no complexo industrial da Albras/Alunorte (ANTAQ, 2008).

O calado máximo recomendado no porto é limitado pelas profundidades dos canais de acesso:

- Canal do Espadarte (Baixo do Taipu): 12,20m (40,0 pés) na preamar;
- Canal do Quiriri: 13,70m (45,0 pés). Quando demandado o porto por este canal, supondo-se a velocidade da embarcação em 8 nós, navios com calado superior a 10,70m (35,1 pés) devem levar em consideração a maré da hora, antes de demandar o citado canal, de forma a manter uma separação em relação ao fundo de, no mínimo, 2,28 m (7,48 pés).

O Porto Vila do Conde conta com quatro berços de atracação, sendo dois para granéis sólidos, um para soda cáustica e outro para óleo combustível.

A área total do porto é de 3,920.347,00 m² e o comprimento do cais, de 500 m. A Figura 5-5 apresenta uma vista do Porto Vila do Conde.



Figura 5-5: Porto Vila do Conde (PA)



Pode-se chegar ao porto por via terrestre ou marítima. O acesso rodoviário de Belém a Vila do Conde pode ser feito pelas rodovias BR-316 até a PA-140 e PA-252 até a cidade de Moju.

A opção ferroviária não existe. O canal de acesso marítimo é o mesmo do porto de Belém, até a Ilha do Mosqueiro, com uma extensão de 170 km e profundidade mínima de 9 metros.

O porto tem como principais cargas transportadas alumina, caulim e óleo combustível no embarque; e coque, piche, soda cáustica, fluoreto de alumínio, tijolo refratário e blocos catódicos no desembarque.

5.1.5.3.2. Porto de Itaqui, Maranhão

O porto localiza-se no município de São Luís, com acesso por rodovias, ferrovias e hidrovias, respectivamente: BR-135, ramal ferroviário Piçarra – Itaqui e pelos rios Mearim, Pindaré e Grajaú. Sua área de influência abrange os estados do Maranhão e Tocantins, sudoeste do Pará, norte de Goiás e nordeste de Mato Grosso.

O porto é o segundo do país em volume de cargas, com investimentos previstos para ampliação em três dos seus seis berços.



Figura 5-6: Porto de Itaqui

Os granéis líquidos representaram, em 2005, 8% do volume total, ou 5,4 milhões de toneladas. Os principais produtos movimentados no porto foram minério de ferro, minério de manganês, ferro gusa, soja, criolita, silício, derivados de petróleo, alumínio e alumina no embarque; e derivados de petróleo, fertilizantes, trigo, carvão/coque e piche no desembarque.

O PAC (2008) inclui a ampliação da infraestrutura do porto com a construção de mais um berço e ampliação de outros dois. Prevê, ainda, a dragagem do canal de navegação/bacia de atração dos berços 100 a 103.

De acordo com a projeção realizada juntamente com a Petrobras-Transpetro, o porto de Itaqui (MA) e o Porto Vila do Conde (PA) seriam responsáveis por cerca de 20% das exportações de bio-etanol em 2025.



5.1.5.3.3. Porto de Salvador, Bahia

Localizado na cidade de Salvador, o porto situa-se na Baía de Todos os Santos, entre a ponta do Monte Serrat, ao norte, e a Ponta de Santo Antônio, ao sul.

O acesso ao porto pode ser realizado pelas rodovias: BR-324, BR-101, BR-110 e BR-116; e pela Ferrovia Centro Atlântica (FCA). Em sua área de influência estão: o estado da Bahia, o sudoeste e o sul dos estados de Pernambuco e Sergipe.

Os principais produtos que desembarcam no porto de Salvador são: plástico, concentrado de cobre, sisal, produtos siderúrgicos, sucos, celulose, produtos químicos, granito, cacau, alumínio, grafite, hidrogenados. Embarcam no porto, principalmente: cevada, papel, concentrado de cobre, veículos, produtos químicos, alimentos.

Segundo a Companhia das Docas do Estado da Bahia, a CODEBA (2009), Salvador é o porto com maior movimentação de contêineres das regiões Norte e Nordeste, e o segundo maior exportador de frutas do país.

O porto de Salvador seria responsável por 29% das exportações de bioetanol em 2025.

5.1.5.3.4. Porto de Ilhéus, Bahia

Localizado em Ponta do Malhado, na cidade de Ilhéus, sul do estado da Bahia, tem como área de influência as regiões sudeste e oeste do estado, bem como o polo de informática de Ilhéus.

O porto tem como principais cargas embarcadas: soja, cacau, produtos químicos, sisal, grafite, fumo, peles, cobre, celulose e equipamento; enquanto as importadas são: trigo, amêndoas, chapa de aço.

De acordo com a projeção realizada, o porto de Ilhéus seria responsável por 13% do volume de exportação de etanol, a partir das áreas A14 e A15.

5.1.5.3.5. Porto de São Sebastião (SP)

Administrado pela Companhia Docas de São Sebastião, o porto está localizado na cidade de São Sebastião, em frente à Ilha de São Sebastião (Ilhabela), no litoral norte do estado de São Paulo. O objetivo do governo do estado de São Paulo é integrar o porto ao corredor de exportação Campinas – Vale do Paraíba – Litoral Norte, com o intuito futuro de privatizá-lo. Nos últimos dois anos, o governo estadual já investiu mais de R\$ 259,1 milhões nesse corredor, sendo R\$ 7,3 milhões destinados ao porto. Há uma projeção de investimentos da ordem de R\$ 155 milhões destinados a uma ampliação da estrutura e melhorias dos terminais, permitindo, assim, o atraque de navios de grande calado.



Figura 5-7: Porto de São Sebastião

O acesso ao porto pode ser feito por rodovias: SP-055 e BR-101, que encontram a SP-099, dando acesso ao Vale do Paraíba e à rodovia Presidente Dutra. A área de influência do porto é representada por um trecho do Vale do Paraíba, destacando-se os municípios paulistas de São José dos Campos, Taubaté, Pindamonhangaba, Guaratinguetá e Cruzeiro, por parte da região do ABC, Moji das Cruzes, Sorocaba, Campinas, Piracicaba e estado de Goiás.



Por apresentar uma densa rede de dutos de escoamento e um terminal da Petrobras para óleo bruto e derivados, o porto de São Sebastião deverá receber os maiores investimentos projetados por essa empresa, ficando apto para escoar volumes de até oito bilhões de litros de bioetanol ao ano.

No presente estudo, o porto de São Sebastião (SP) e o porto de Ilha d'Água (RJ) teriam em 2025, juntos, uma capacidade para exportar até 74,2 bilhões de litros, ou 36% do total das exportações projetadas.

5.1.5.3.6. Porto de Santos (SP)

A expansão da cultura do café na província de São Paulo, na segunda metade do século passado, atingiu a Baixada Santista. Esse fato originou a necessidade de novas instalações portuárias, surgindo a instalação do porto de Santos, em 1888.

O porto localiza-se no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro, e dista 2 km do Oceano Atlântico.

O acesso ao porto se dá por rodovias e ferrovia, respectivamente pelas SP-055 (Rodovia Padre Manoel da Nóbrega), SP-150 (Via Anchieta) e SP-160 (Rodovia dos Imigrantes), e pela Ferrovia Centro Atlântica S.A. (FCA).

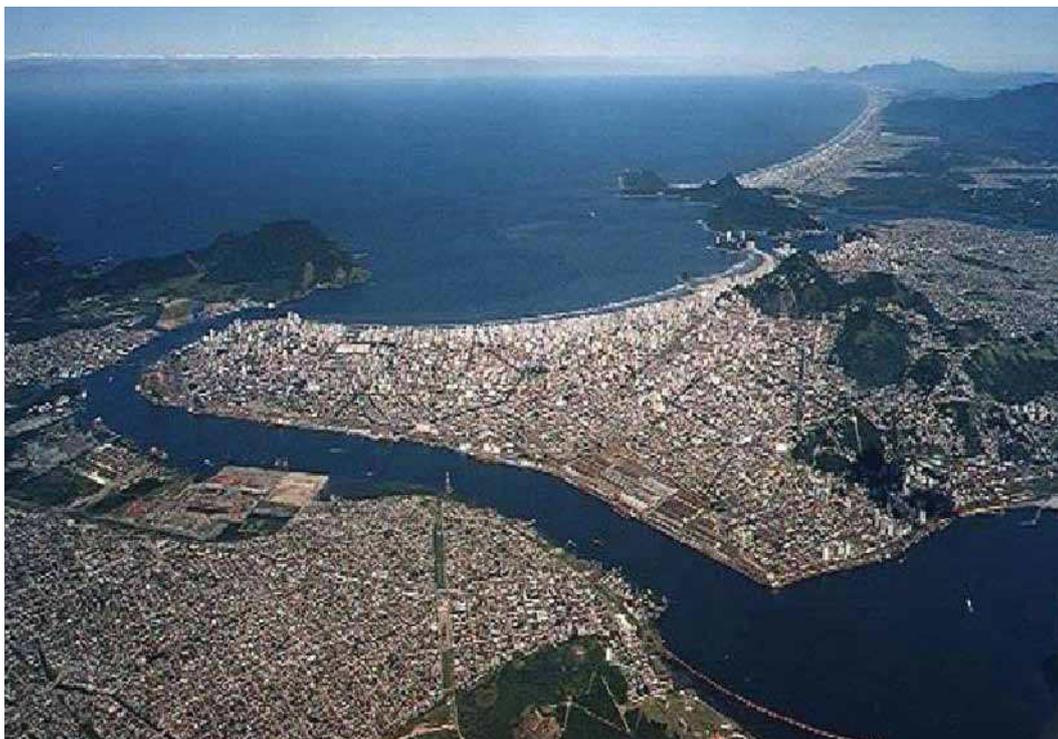


Figura 5-8: Vista do Porto de Santos

Diversos portos brasileiros enfrentam hoje problemas com a falta de infraestrutura. Em Santos, esse problema é agravado devido ao grande volume de cargas que transitam pelo porto.

Estudo feito pela Crystalsev, empresa que possui um terminal no porto e uma das maiores exportadoras de álcool do país, aponta problemas de logística para a exportação do produto, em especial com relação à competição deste com outras cargas líquidas a granel, como químicos, óleos vegetais e outros combustíveis.

Em 2008, o porto de Santos exportou cerca de 70% do total de bioetanol enviado ao exterior, ou pouco mais de 3 bilhões de litros. Este estudo projetou, para 2025, uma capacidade de exportação de até 7,7 bilhões de litros. Questiona-se, no entanto, a capacidade do porto de atender a demanda projetada para o bioetanol nos próximos anos, já que além da infraestrutura saturada, o porto tem uma profundidade que impossibilita a atracação de navios de grande calado, restringindo a atracação de embarcações com 40.000 toneladas de peso bruto (tpb), enquanto outros portos, a exemplo do porto de São Sebastião, teriam capacidade para receber navios de até 300.000 tpb.



Atualmente, a exportação de etanol, a partir de Santos, é realizada, na sua maioria, em navios de 25.000 tpb. O porto de Ilha d'Água recebe navios petroleiros capazes de exportar até 130.000 tpb (Petrobras-Transpetro, 2008).

Assim, um dos itens mais importantes dos portos diz respeito à profundidade dos calados, fator que influencia diretamente o porte máximo das embarcações que podem ser atracadas. A Tabela 5.1-4 apresenta as profundidades dos calados dos principais portos contemplados no estudo.

Tabela 5.1-4: Portos e calados

| Portos | Profundidade dos calados (m) | |
|----------------------|------------------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| Vila do Conde (PA) | 13,0 | 15,0 |
| Itaqui (MA) | 13,0 | 19,0 |
| Salvador (BA) | 12,0 | 18,0 |
| São Sebastião (SP) | 12,0 | 18,0 |
| Ilhéus (BA) | 10,0 | 10,0 |
| Angra dos Reis (RJ) | 6,0 | 12,0 |
| La Plata (Argentina) | 8,5 | 8,5 |

Fonte: Ministério dos Transportes (2007) e Coppead (2007)

Os dois primeiros portos, Vila do Conde e Itaqui, fazem parte dos investimentos previstos no PAC (2007) e espera-se que fiquem preparados para receber as embarcações de grande porte, com capacidade para transportar 150 milhões a 280 milhões de litros de combustível.

Como comparativo, a Tabela 5.1-5 apresenta a profundidade dos calados dos demais portos pelos quais o bioetanol tem sido exportado nos últimos anos.

Tabela 5.1-5: Portos atuais que exportam etanol

| Porto | Profundidade dos calados (m) | |
|----------------|------------------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| Santos (SP) | 5,0 | 13,5 |
| Paranaguá (PR) | 5,9 | 7,2 |
| Cabedelo (PB) | 6,0 | 9,5 |
| Maceió (AL) | 7,0 | 10,0 |
| Vitória (ES) | 2,4 | 10,6 |

Fonte: Ministério dos Transportes (2007) e Coppead (2007)

5.1.6. Hidrovias Brasileiras

Desde 1799, vêm se apresentando idéias e projetos de integração do território brasileiro por meio das hidrovias. A primeira idéia de que se tem notícia foi a do cientista alemão Alexander von Humboldt, que, ao visitar a América do Sul, anteviu que o continente poderia ser ligado de norte a sul por uma “Grande Hidrovia”, que poderia unir as bacias do Prata, Amazonas e Orinoco (esta última na Venezuela) através do canal do Cassiquiare, um canal natural entre os rios Negro e Orinoco (LINO *et all*, 2008).

Em 1869, o engenheiro militar Eduardo José de Moraes apresentou ao imperador Dom Pedro II um plano de vias navegáveis que esboçava como, através de canais e obras sem grande custo, se estabeleceria uma grande rede de navegação fluvial, que facilitaria a integração de todas as regiões do país.

De acordo com os mesmos autores, a interligação das bacias do Prata e do Amazonas se daria através de um canal de 12 quilômetros na borda do Pantanal, na chamada Serra do Aguapéi, onde nascem os rios Aguapéi e Alegre. Estas duas bacias, de fato, já se conectam naturalmente nas épocas das cheias da região. A interconexão das bacias do Prata, Amazonas e Orinoco, com 9.818 quilômetros de extensão, formaria a “Grande Hidrovia”, que integraria todos os países da América do Sul, com exceção do Chile. O significado estratégico desta hidrovia para a interiorização do desenvolvimento econômico regional é comparável ao que a Hidrovia Reno-Danúbio, iniciada por Carlos Magno e só concluída há alguns anos, representou para o continente europeu.



5.1.6.1. Principais hidrovias do Brasil

O Brasil tem mais de 7 mil quilômetros de costa atlântica navegável e milhares de quilômetros de rios. Uma boa parte dos rios navegáveis encontra-se na Amazônia, tendo significativa importância por alcançarem áreas remotas. No entanto, o modal hidroviário não se constitui em uma solução econômica igualmente importante devido à baixa densidade populacional dessa região.

Os trechos hidroviários mais importantes, do ponto de vista de movimentação econômica, encontram-se no Sudeste e no Sul do país. O pleno aproveitamento de outras vias navegáveis depende da construção de eclusas, obras de dragagem e principalmente de portos que possibilitem a integração intermodal. Entre as principais hidrovias brasileiras (Figura 5.1-9), destacam-se:

- 1 **Hidrovia Araguaia-Tocantins:** a Bacia do Tocantins é a maior bacia localizada inteiramente no Brasil. Durante as cheias, seu principal rio, o Tocantins, é navegável numa extensão de 1.900 quilômetros, entre as cidades de Belém, no Pará, e Peixes, em Goiás. O Araguaia cruza o estado de Tocantins de norte a sul e é navegável num trecho de 1.100 quilômetros. A construção da Hidrovia Araguaia-Tocantins visa criar um corredor de transporte intermodal na região Norte.
- 2 **Hidrovia São Francisco:** entre a Serra da Canastra, onde nasce, em Minas Gerais, e sua foz, na divisa de Sergipe e Alagoas, o Velho Chico, como é conhecido o maior rio situado inteiramente em território brasileiro, é o grande fornecedor de água da região semiárida do Nordeste. Seu principal trecho navegável situa-se entre as cidades de Pirapora, em Minas Gerais, e Juazeiro, na Bahia, em um trecho de 1.300 quilômetros. Os principais projetos em execução ao longo do rio visam melhorar a navegabilidade e permitir a navegação noturna.
- 3 **Hidrovia da Madeira:** o Rio Madeira é um dos principais afluentes da margem direita do Amazonas. A hidrovia, com as obras realizadas para permitir a navegação noturna e a redução do custo do escoamento de grãos no Norte e no Centro-Oeste, está em operação desde abril de 1997.
- 4 **Hidrovia Tietê-Paraná:** esta via concentra enorme importância econômica por permitir o transporte de grãos e outras mercadorias de três estados: Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. São 1.250 quilômetros navegáveis, sendo 450 quilômetros no Rio Tietê, em São Paulo, e 800 quilômetros no Rio Paraná, na divisa de São Paulo com o Mato Grosso do Sul e na fronteira do Paraná com o Paraguai e a Argentina. Para operacionalizar esses 1.250 quilômetros, há a necessidade da conclusão de uma eclusa na represa de Jupia para que os dois trechos se conectem.

- 5 **Hidrovia Taquari-Jacuí:** tem 621 quilômetros de extensão até o município de Rio Grande (RS). Os principais produtos transportados na hidrovia são grãos e óleos. Uma de suas importantes características é ser bem servida de terminais intermodais, que facilitam o transbordo das cargas. No que diz respeito ao tráfego, outras hidrovias têm maior importância local, principalmente no transporte de passageiros e no abastecimento das localidades ribeirinhas.

Administrações Hidroviárias: no Brasil, a Administração Hidroviária está relacionada diretamente ao Ministério dos Transportes, no segmento de Transportes Aquaviários, o qual também cuida das Hidrovias Nacionais, da Marinha Mercante e dos Sistemas Portuários. São oito administrações designadas a acompanhar e executar as atividades de manutenção, estudos, obras, serviços e exploração dos rios e portos nas bacias hidrográficas de sua competência.

5.1.6.2. A Hidrovia Como Sistema de Transporte

O sistema de transportes de um país pode ser usado como um bom indicador de desenvolvimento quando analisado com certo detalhe, não levando em consideração apenas os produtos que são transportados, mas também as vias utilizadas para esse transporte. Deste modo, o estágio de desenvolvimento relacionado ao transporte encontrado em um determinado país demonstra o reflexo das suas aplicações em desenvolvimento econômico e tecnológico empregados nesse segmento (NUNES, 2007).

O transporte hidroviário no Brasil pode ser considerado como parcial, uma vez que há um subaproveitamento dos rios brasileiros na sua utilização como vias navegáveis (ROSSETTO JÚNIOR, 2008). Os rios brasileiros movimentam muito pouco do total de cargas transportadas por outros modais no país (ferroviário, rodoviário e aeroviário), ainda que, desde início dos anos 1980 e 1990, tenham sido investidos recursos significativos para o desenvolvimento do setor.

O sistema hidroviário no Brasil é constituído pelas vias navegáveis - rios, lagos e canais - que, com as devidas instalações, podem proporcionar o seu uso adequado como vias de transporte para a navegação.

Com exceção do rio Amazonas, da rede fluvial e lacustre do Rio Grande do Sul e do Rio Paraguai, a rede hidroviária brasileira possui cachoeiras e corredeiras que subdividem os rios em trechos navegáveis e não navegáveis. Por isso é necessário transpor estes obstáculos ou quedas d'água com a construção de eclusas e comportas, o que requer investimentos.



Ao longo do Rio Tietê, por exemplo, existem seis barragens: as de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e a de Três Irmãos. São 580 quilômetros navegáveis com seis eclusas, com a finalidade de transpor 123 metros de desnível entre Barra Bonita e Ilha Solteira.

A aplicação de recursos para viabilizar as hidrovias pode ser justificada pelo fato deste meio de transporte apresentar-se significativamente mais econômico quando comparado aos outros modais de transporte. De acordo com o a Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo (2008), o modal aquaviário consome metade do combustível quando comparado ao transporte ferroviário (Tabela 5.1-6). No transporte rodoviário, o consumo é cerca de vinte vezes daquele observado no sistema aquaviário.

Tabela 5.1-6: Comparativo de custos entre modais de transporte

| Modal | Custo médio de construção (US\$/km) | Custo de manutenção | Consumo de combustível (l/t/1000 km) | Custo de frete (US\$/t/1000 km) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Rodoviário | 440.000 | Alto | 96 | 34 |
| Ferroviário | 1.400.000 | Alto | 10 | 21 |
| Aquaviário | 34.000 | Baixo | 5 | 12 |

Fonte: Secretaria dos Transportes (2008)

O Sindicato dos Armadores de Navegação Fluvial do estado de São Paulo (SINDASP), 2007, afirma que o transporte hidroviário é três vezes mais barato e oito vezes menos poluidor que o rodoviário. Além disso, a economia que se tem ao usar o transporte intermodal (rodo-hidro-ferroviário) pode chegar a 40% se comparada apenas com os custos do modal rodoviário.

Estudos feitos apontam que a viabilidade do modal hidroviário para o setor sucroenergético é cada vez mais patente devido à sua competitividade. De acordo com o SINDASP, em 2005, o custo para transportar 1 tonelada por mil quilômetros na rodovia, em média, seria de US\$39, na ferrovia, US\$21 e US\$14 na hidrovía.

A área influenciada por esses sistemas estende-se por milhares de quilômetros e é ainda maior com os portos intermodais de carga, como é o caso do localizado em Pederneiras, que liga a hidrovía

com a estrada de ferro Fepasa (Panorama - Bauru - São Paulo) e a rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (Bauru - Jaú). Logo, a intermodalidade abrange conexões necessárias com as ferrovias e rodovias.

A cana-de-açúcar e outros produtos são transportados pela hidrovia do álcool (Jaú - Pederneiras - Barra Bonita) desde 1981. Também há o transporte do bioetanol proveniente de Araçatuba (barragem de Nova Avanhandava) até a rodovia SP-191, próxima a Piracicaba, que posteriormente utiliza o transporte rodoviário até Paulínia.

De acordo com o Ministério dos Transportes, em 1995 foram transportadas 1,087 milhão de toneladas de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná, e, em 2006, este número subiu para 3,829 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 252%.

Para viabilizar o sistema hidroviário, o estado de São Paulo investiu, de 1995 a 2005, cerca de R\$ 565 milhões em obras diversas, como proteção de pilares de pontes, ampliação de vãos, aprofundamento de canais de navegação, construção de eclusas e modernização tecnológica. Isso implica o carregamento de maior quantidade de produtos e maior velocidade de transporte.

Os trabalhos propiciaram que a hidrovia tivesse garantido, junto aos órgãos reguladores, uma lâmina mínima de água de 2,90 metros durante todo o ano. Isso possibilita a navegação de barcos com calado de 2,70 metros. Com isso, cada comboio carrega cerca de 6 mil toneladas, equivalente à carga de 200 carretas, numa velocidade média de 12 a 15 km/h, o que representa as seguintes vantagens para o transporte hidroviário:

- Consumo eficiente de combustível, conforme apresentado na Tabela 5.1-6.
- Redução dos congestionamentos;
- Redução na emissão de poluentes. Enquanto o transporte na hidrovia emite 0,056 kg/t/1000km de monóxido de carbono, na ferrovia emite-se praticamente o triplo, 0,18 kg/t/1000km e na rodovia, quase dez vezes, 0,536 kg/t/1000km (Diniz, 2007);
- Maior segurança;
- A vida útil de um comboio é de 50 anos;
- Emissão de ruídos menor.

Isso pode explicar por que a utilização do sistema aquaviário cresce na ordem de 10% a 20% ao ano desde 1999. No entanto, este também apresenta alguns pontos negativos:



- O fato de ser pouco conhecido;
- Depende de outro modal para complementar o transporte;
- Imagem negativa de que o transporte hidroviário prejudica o meio ambiente.

5.1.6.3. Adaptação do setor: transporte de grãos *versus* combustíveis

Para transportar as produções de açúcar e bioetanol no sistema hidroviário, as empresas que atuam nesse modal de transporte precisam fazer adaptações, uma vez que as hidrovias têm sido mais utilizadas para transportar grãos e existem diferenças importantes quanto à segurança para o transporte de combustíveis, mesmo que renováveis.

Do lado da estrutura, seria necessário aumentar as barcaças e a potência de empuxo. Utilizar barcaças-tanques e instalar estruturas de recebimento do bioetanol através de terminais próximos aos portos de atracação da hidrovia, por exemplo, com um casco duplo para o acondicionamento do etanol. No caso do transporte de açúcar a granel, as próprias barcaças existentes para transporte de soja poderiam ser utilizadas.

Existe uma limitação quanto à capacidade dos comboios nos principais corredores hidroviários brasileiros, conforme apresentado na Tabela 5.1-7.

Tabela 5.1-7: Capacidade dos comboios nos principais corredores hidroviários do Brasil

| Corredor hidroviário | Capacidade aproximada do comboio (t) | Distância aproximada de transporte (km) |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Madeira | 20.000 a 24.000 | 1.150 |
| Tapajós – Teles Pires | 7.500 | 1.050 |
| Araguaia - Tocantins | 2.000 a 3.000 | 1.250 |
| São Francisco | 2.000 a 2.500 | 1.400 |
| Paraguai – Paraná | 18.000 a 22.000 | 1.900 |
| Tietê – Paraná | 2.400 a 4.800 | 730 |

Fonte: Ministério dos Transportes

Levando em consideração as vantagens do transporte hidroviário, o governo brasileiro propõe a expansão do setor, tendo a “construção” de hidrovias como parte fundamental da estratégia de integração e desenvolvimento nacional e da América do Sul, conforme foi apresentado no PAC através de estudo de viabilidade econômica e ambiental.

É importante ressaltar que neste estudo se está ciente que a melhor opção para o escoamento de grandes volumes de etanol, como os considerados no cenário analisado de exportar 205 bilhões de litros ao ano em 2025, é através de dutos. No entanto, a integração com outros modais, a exemplo do hidroviário, poderia ser utilizado em áreas selecionadas que têm acesso a este tipo de transporte ou mesmo enquanto a construção dos dutos seja concluída.

5.1.7. Alternativas de transporte para exportação de bioetanol e investimentos necessários

A partir de um estudo realizado em parceria com a Petrobras Transportes S.A – Transpetro, elaborou-se a Tabela 5.1-8, que apresenta uma estimativa do custo logístico para escoamento do bioetanol das áreas selecionadas até os portos em 2025, em conformidade com a Figura 5.1-3. Vale notar que as diferentes rotas de exportação não poderiam deixar de incluir o estado de São Paulo, o qual deverá continuar a expandir a produção cana-de-açúcar para produção de bioetanol e açúcar.

Algumas áreas poderiam exportar o bioetanol por mais de um porto, a exemplo das áreas A1, A11 e A10, cuja exportação é factível pelo Porto de Vila do Conde (PA) ou Itaqui (MA), ou ainda, as áreas A3, A5, A6 e A7 que poderiam utilizar tanto o porto de São Sebastião (SP) como o de Ilha d'Água (RJ). A definição do porto ótimo requer um estudo detalhado, não incluído no escopo deste trabalho.



Tabela 5.1-8: Custo logístico estimado (US\$/m³)

| Localidade | Centros coletores | Terminais | Porto Exportador | Custo estimado até o porto (US\$/m ³) |
|-----------------|----------------------|-----------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Área 01 | 0 | 0 | Vila do Conde (PA) ou Itaqui | 31,40 |
| Área 02 | 0 | 0 | La Plata (Argentina) | 54,00 |
| Área 03 | 0 | 0 | Ilha d'Água (RJ) ou São Sebastião (SP) | 29,60 |
| Área 04 | 1 | 1 | Ilha d'Água (RJ) ou São Sebastião (SP) | 29,60 |
| Área 05 | 1 | 0 | Ilha d'Água (RJ) ou São Sebastião (SP) | 29,60 |
| Área 06 | 1 | 1 | São Sebastião (SP) | 29,60 |
| Área 07 | 1 | 0 | São Sebastião (SP) ou Ilha d'Água (RJ) | 29,60 |
| Área 08 | 0 | 0 | - | - |
| Área 09 | 0 | 0 | Salvador (BA) | 21,60 |
| Área 10 | 0 | 1 | Itaqui (MA) ou Vila do Conde (PA) | 31,40 |
| Área 11 | 0 | 0 | Vila do Conde | 31,40 |
| Área 12 | 1 | 0 | Ilha d'Água (RJ) ou São Sebastião (SP) | 29,60 |
| Área 13 | 0 | 0 | Salvador (BA) | 21,60 |
| Área 14 | 1 | 0 | Ilhéus (BA) | 22,90 |
| Área 15 | 0 | 0 | Ilhéus (BA) | 22,90 |
| Área 16 | 1 | 1 | Salvador (BA) | 21,60 |
| Área 17 | 0 | 0 | - | - |
| Portos* | 0 | 5 | - | - |
| Demais estados* | 1 | 2 | - | - |
| TOTAL | 8 | 11 | - | - |

Obs.: (*) Centros coletores e terminais localizados fora das 17 áreas selecionadas no estudo.

Fonte: Transpetro (2007)

Em particular, para a área A2, o menor custo de escoamento para exportar a sua produção seria pelo porto de São Sebastião (SP) ou Ilha d'Água (RJ). No entanto, sugeriu-se o transporte pelos rios Paraguai-Paraná, até o porto de La Plata, na Argentina, como uma estratégia para buscar uma maior integração com os países vizinhos Paraguai, Uruguai e Argentina. Esta poderá ser uma rota interessante para abastecer, além da região Sul do Brasil, os demais países pioneiros do Mercosul.

O investimento total necessário para a logística é de US\$ 14,5 bilhões, sendo US\$ 3,5 bilhões para o Ano 10, US\$ 5,0 bilhões para o ano 15 e US\$ 6,0 bilhões para o ano 20. Considera-se, nesse investimento, o escoamento de 259 bilhões de litros, que inclui a demanda do mercado interno de etanol, notoriamente para os veículos leves *flex fuel*.

A maior parcela do investimento, em torno de 70%, diz respeito à construção de dutos, como se observa na Tabela 5.1-9, mesmo incluindo-se na análise os trechos que podem utilizar a “faixa de servidão” de polidutos ou gasodutos já existentes.

Tabela 5.1-9: Investimento para a construção de centros coletores, dutos e terminais aquaviários

| Instalação | Investimento (US\$ bilhão) | | | |
|-----------------------|----------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | Ano 10 | Ano 15 | Ano 20 | TOTAL |
| Centros coletores | 0,34 | 0,35 | 0,63 | 1,32 |
| Dutos | 2,32 | 3,45 | 4,30 | 10,07 |
| Terminais aquaviários | 0,84 | 1,20 | 1,07 | 3,11 |
| Total | 3,50 | 5,00 | 6,00 | 14,50 |

Fonte: Transpetro (2007)



5.1.7.1. Estimativa mais detalhada dos custos de transporte do bioetanol de cada *cluster* de destilarias ao terminal marítimo selecionado

A Tabela 5.1-9 apresentou os investimentos por etapa. O total em centros coletores, em 20 anos, chega a US\$ 1,32 bilhão. Para a construção dos dutos, estima-se um montante de US\$ 10,07 bilhões, mais US\$ 3,11 bilhões em adequações para os terminais aquaviários, incluindo a construção de eclusas, totalizando um investimento de US\$ 14,5 bilhões que seriam diluídos ao longo de 20 anos.

As premissas adotadas pela Transpetro para esse estudo são:

- Construção de dutos no longo prazo, tendo como base um custo de US\$ 35.000/polegada de diâmetro/km. Embora o valor do aço tenha sofrido diversos aumentos, acredita-se que, dado o volume das exportações no cenário considerado, é possível manter-se o valor acima;
- * O duto é uma extensão linear, uma reta, que une os Centros Coletores aos Terminais de exportação. Para calcular o custo do duto, adiciona-se cerca de 30% à extensão (distância) inicial.
- A distância média considerada das usinas até os Centros Coletores, via rodoviária, é de 100 km;
- A localização dos Centros Coletores foi feita com base na região de produção de etanol, com armazenamento previsto para 10 dias;
- Para o transporte hidroviário foram considerados os valores de fretes médios praticados no país em 2007 e as estimativas do estudo da hidrovía Tietê/Paraná, sem considerar frete de retorno e sem incluir os investimentos nas hidrovias e na construção de barcaças;
- A distribuição do consumo nacional de bioetanol seria de 20% na Região Sul, 50% na Região Sudeste, 5% na Região Norte, 15% na Região Nordeste e 10% na Região Centro-Oeste;
- A taxa de câmbio considerada é de R\$ 2,30/ US\$.

O custo do transporte marítimo internacional precisa ser contemplado, uma vez que compõe o custo de importação a ser pago pelo importador. De acordo com a Tabela 5.1-10, a seguir, o valor do frete por m³ transportado diminui com o aumento do volume total transportado nos cargueiros” chegando a diferenças superiores a 30%. Nesse sentido, é importante o país oferecer portos que possam contemplar o fluxo de navios de grande porte.

Tabela 5.1-10: Custo do frete internacional a partir do SE do Brasil

| Destino | Tipo de navio | Capacidade (m ³) | US\$/m ³ |
|---------|---------------|------------------------------|---------------------|
| Europa | PANAMAX | 80.000 | 18,00 |
| | SUEZMAX | 150.000 | 15,00 |
| | VLCC | 280.000 | 10,00 |
| Japão | SUEZMAX | 150.000 | 31,00 |
| | VLCC | 280.000 | 21,00 |

Fonte: Transpetro (2007)

O custo associado à exportação de etanol, segundo informações da Sociedade Corretora do Alcool (SCA), 2007, e confirmadas em visitas realizadas a diferentes usinas, é de US\$ 45 por m³ para o transporte consolidado, incluindo as seguintes despesas:

- 1 US\$ 15 a US\$ 17 por m³: custos de armazenagem no terminal de Santos;
- 2 US\$ 2 por m³: supervisão das certificadoras mais as taxas do porto;
- 3 US\$ 26 a US\$ 28 por m³: transporte rodoviário da área de Ribeirão Preto a Santos.

Se o bioetanol a ser exportado tiver como origem o estado de Goiás, o valor aumenta para US\$ 70 a US\$ 75 por m³; se a origem for Araçatuba (noroeste do estado de São Paulo), o valor é de aproximadamente US\$ 55 por m³, e se a origem for Piracicaba (SP), US\$ 38 por m³.

Dos US\$ 45 a US\$ 70 por m³ referentes ao transporte interno do bioetanol praticados em 2007, partindo das diferentes regiões de São Paulo e Goiás até o porto, o custo, de acordo com o estudo realizado, poderia ser reduzido para US\$ 29,60 por m³, conforme apresentado na Figura 5.1-3 e na Tabela 5.1-8.

Para o transporte internacional, a cotação para os Estados Unidos, no Golfo do México, é de US\$ 50 a US\$ 55 por m³. Se o destino for a costa leste ou oeste dos EUA, o valor chega a US\$ 60 por m³. Essas cotações podem sofrer alterações dependendo da época do ano e da oferta de embarcações maiores.

Pode-se concluir que com o novo desenho logístico e a implementação de novos terminais, assim como a modernização dos portos nacionais para receber embarcações de grande porte, o Brasil, ali-



cerçado em um planejamento bem estruturado, teria capacidade e preço competitivo para exportar 205 bilhões de litros ao ano em 2025.

5.1.7.2. Algumas considerações finais

- O sistema multimodal precisa ser melhor entendido e conhecido pelos profissionais da área de transporte e logística; há a necessidade de se desenvolver uma cultura multimodal com a utilização dos diferentes modais de transporte de modo integrado e otimizado;
- É necessária a integração entre os órgãos de transporte e outros órgãos da Administração Pública, a exemplo da Fazenda Nacional e Fazenda Estadual;
- É desejável estabelecer uma política de estímulo ao investimento privado, com regras claras e definidas de financiamento;
- Entre as prioridades, no que diz respeito ao modal hidroviário, estão a eclusa de Tucuruí e ampliação da hidrovía Araguaia-Tocantins, ambas contempladas no PAC (2007). Inclui-se, ainda, a modernização das barcas e comboios utilizados no transporte hidroviário;
- Deve-se proceder à ampliação da capacidade física dos portos com correspondente acesso às cargas, evitando-se demoras que comprometam o setor produtivo nacional.

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. Transporte Multimodal – Conceitos, 2008. Acesso através do site: <www.antt.gov.br/carga/multimodal/otm.asp>
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos - planejamento, organização e logística empresarial. 4a. edição, Porto Alegre, Bookman, 2001, 532p.
- BANCO MUNDIAL. Como Revitalizar os Investimentos em Infra-Estrutura no Brasil: Políticas Públicas para uma Melhor Participação do Setor Privado. Volume I: Relatório Principal. Novembro, 2007.
- COMPANHIA DAS DOCAS DO ESTADO DA BAHIA – CODEBA, 2008.
Acesso pelo site: www.codeba.com.br
- COPPEAD-UFRJ. Indicadores de Transporte Aquaviário - Brasil. Centro de Estudos em Logística. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- DINIZ, M.A.A. Sistema de Gestão Ambiental para Obras Fluviais. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Engenharia de Transportes. Rio de Janeiro, 2007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO, 2008. (ref. pág. 131).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2007, “Produção Agrícola Municipal de 2005”. <www.ibge.gov.br>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2008. <www.ibge.gov.br>
- LINO, L.G. et all. A hora das hidrovias: estradas para o futuro do Brasil. Ed. Capax Dei. 2008,152p.
- Ministério dos Transportes - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT, 2008.
Acesso através do site <<http://transportes.gov.br>>
- NUNES, A.O. Análise da Oferta de Operadores de Transporte Multimodal de Cargas no Brasil: Uma Aplicação da Teoria dos Custos de Transação. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Novembro, 2007.
- PETROBRAS-TRANSPETRO S.A. Perspectivas Futuras para o bioetanol Combustível. Logística na Exportação de Álcool. Campinas, 2009.



- PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO – PAC. Balanço 2 Anos. Governo Federal. Fevereiro. 2009, Acesso através do site: www.brasil.gov.br/pac/balancos/balanco2anos
- ROSSETO JÚNIOR, O. Hidrovia Tietê-Paraná tem 87% de ociosidade. Jornal da Cidade, São Paulo. Junho, 2008.
- SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR - SECEX. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Acesso em março de 2009 através do site: <<http://www.desenvolvimento.gov.br>>
- SECRETARIA DOS TRANSPORTES. Governo do Estado de São Paulo, 2008. Disponível on line: www.transportes.sp.gov.br/v20/hidrovia.asp
- SEMINÁRIO EXPORTAÇÃO E LOGÍSTICA DO ETANOL: caminhos para a consolidação da exportação mundial ,2009. Opera Mundi. São Paulo. Março.
- SINDICATO DOS ARMADORES DE NAVEGAÇÃO FLUVIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDASP, 2007.
- SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES – SINDICOM, 2008. Acesso pelo site: <http://www.sindicom.com.br/logistica>
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA) – Acesso através de: <http://www.unica.com.br>

The background features a dense field of corn plants. A semi-transparent green overlay covers the entire image. Overlaid on this is a faint, light-colored network diagram consisting of circular nodes connected by lines, suggesting a technological or interconnected theme. A solid green vertical bar is positioned on the right side of the page.

Construção de cenários tecnológicos sobre a produção de bioetanol no Brasil, avaliação dos impactos acroeconômicos e riscos de o mercado previsto não se concretizar



6. Construção de cenários tecnológicos sobre a produção de bioetanol no Brasil, avaliação dos impactos macroeconômicos e riscos de o mercado previsto não se concretizar

Em um cenário em que se admitem avanços tecnológicos nas áreas agrícola e industrial, o balanço de terras feito no estudo indica que seriam necessários 25 milhões de hectares plantados de cana-de-açúcar (além dos quais 6,2 milhões ha seriam preservados como área de reserva legal), nas 17 áreas selecionadas, para atender às metas de exportação de 205 bilhões de litros de etanol. A necessidade de terras aumentaria para 33 milhões de hectares de cana-de-açúcar plantada (além dos quais 8,3 milhões hectares como área de reserva legal) se for considerada, também, a cana-de-açúcar necessária para atender o mercado interno de bioetanol e as exportações de açúcar. A simulação dinamizada embute todas as novas necessidades de expansão de área das demais culturas temporárias e permanentes do país, embora não se tenha contabilizado especificamente o impacto que resultaria da expansão de culturas oleaginosas destinadas a atender as metas do Programa de Biodiesel. Um exercício preliminar permite antever que este pode ser substancial, em torno de 4 milhões de hectares. Ainda assim, existe uma margem de terras superior a 30 milhões de hectares no cenário analisado, sem tecnologia, que permitiria contemplar com folga esse objetivo.

Os avanços no cenário tecnológico resultam de melhoras tanto na fase agrícola quanto na industrial. Estima-se que a produção de bioetanol por hectares plantado de cana suba de 6.071 litros para 11.104 litros em um prazo de 20 anos. Ficou evidenciado que o avanço tecnológico permitiria abaixar substancialmente a demanda de terras em mais de 6 milhões de ha, apenas para alcançar a meta de exportação do cenário analisado. Sendo assim, as terras de produtividade alta e média seriam suficientes para alcançar as metas de exportação de 205 bilhões de litros ao ano. Essa economia de terras seria ainda maior se o progresso técnico, como é de se esperar, se propagar para os demais usos da produção de cana-de-açúcar (etanol de mercado interno e açúcar). Nesse caso a economia de terras pode chegar a mais 9 milhões de hectares.

O volume de investimentos necessários para atingir as metas do cenário de exportação são substanciais, mas perfeitamente compatíveis com o porte da economia brasileira; estima-se que os investimentos ultrapassarão a barreira dos R\$ 35 bilhões em alguns anos, totalizando R\$ 402 bilhões nos 20 anos. Pro-

jetando-se uma expansão média da economia de 3% a.a., estima-se que no ponto culminante o esforço corresponda a menos de 6% do volume de investimentos da economia brasileira para aquele ano. Os impactos regionais das exportações no cenário estudado são substanciais, sendo mais expressivos em regiões menos desenvolvidas do país, como o Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Nesta última região, o impacto do cenário analisado equivaleria a uma expansão do PIB de 2,28% a.a. durante 20 anos. Os impactos em termos da expansão do volume de exportações seriam significativos, alcançando um valor superior a US\$ 60 bilhões, valor aproximadamente seis vezes superior às exportações do complexo soja em 2005.

A expansão da produção de bioetanol com vistas à consecução das metas de exportação estabelecidas para o cenário analisado (205 bilhões de litros ao ano em 2025), baseada nas premissas técnicas e na disponibilidade de terras apresentadas nos capítulos anteriores, acarretaria importantes transformações para a economia brasileira. O atual capítulo oferece uma visão dessas transformações que ocorreriam em função da expansão da cultura de cana-de-açúcar. Na primeira parte, mostra-se como se comportariam a demanda de bioetanol e a oferta de cana-de-açúcar e de bioetanol no país. O objetivo dessa primeira parte é demonstrar que existem plenas condições para que a agroindústria brasileira atinja as metas de exportação e atenda às demais necessidades da economia. Na segunda parte analisam-se quais seriam os possíveis desdobramentos desses cenários sobre a economia brasileira, inclusive do ponto de vista da perspectiva regional.

6.1. Dinamização da demanda de terras

Diversos usos deverão competir pelas terras atualmente disponíveis para a agricultura no território nacional. A cana-de-açúcar é apenas uma das culturas que ocupam as terras destinadas à agricultura no país. Ademais, o bioetanol para exportação compete no uso da cana com o bioetanol destinado para o mercado interno e com o açúcar. Será abordado, a seguir, o comportamento de cada um desses componentes.

6.1.1. Consumo interno de etanol

O consumo de bioetanol combustível, seja de álcool anidro para mistura à gasolina, seja de álcool hidratado utilizado na frota remanescente de carros 100% a bioetanol e nos *flex fuel*, que permitem



o uso de gasolina e/ou álcool hidratado, está diretamente relacionado com a evolução da frota de veículos leves¹.

Para projetar o consumo interno de bioetanol no cenário analisado, foram considerados os estudos realizados pelo MAPA, DATAGRO e UNICA (2006), sem restringir-se aos parâmetros apresentados, que incluem análise até 2013 ou 2015.

A projeção da evolução da frota de veículos leves, apresentada na Tabela 6.1-1, segue as seguintes premissas:

- A frota de veículos leves crescerá 4% ao ano, acompanhando a evolução do PIB do país;
- As vendas de veículos leves aumentarão 5% ao ano;
- Os carros *flex* representarão 85% das vendas de veículos leves até 2025;
- A taxa de sucateamento dos carros *flex* é de 3,5% nos cinco primeiros anos; 5% de 2007 a 2012 e 10% até 2025;
- A venda de carros que utilizam gás natural veicular (GNV) é de 200 mil unidades/ano e a taxa de sucateamento desses veículos é de 7% até 2012 e 10% até 2025.

Tabela 6.1-1: Projeção da frota doméstica de veículos leves nos próximos vinte anos (em mil unidades)

| Ano | Frota total | Frota veículos leves | Gasolina | 100% etanol | Flex fuel | GNV | Vendas veículos leves | Participação Flex/vendas V.leves |
|-------|-------------|----------------------|----------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------------------------------|
| 2005 | 23.023 | 21.282 | 17.275 | 1.690 | 1.098 | 1.219 | 1.369 | 80,2% |
| 2010* | 28.011 | 25.893 | 16.122 | 1.109 | 6.945 | 1.717 | 1.731 | 85,0% |
| 2015* | 34.080 | 31.503 | 17.144 | 765 | 11.687 | 1.906 | 2.209 | 85,0% |
| 2020* | 41.463 | 38.328 | 19.907 | 562 | 15.914 | 1.945 | 2.819 | 85,0% |
| 2025* | 50.446 | 46.631 | 23.322 | 443 | 20.899 | 1.967 | 3.598 | 85,0% |

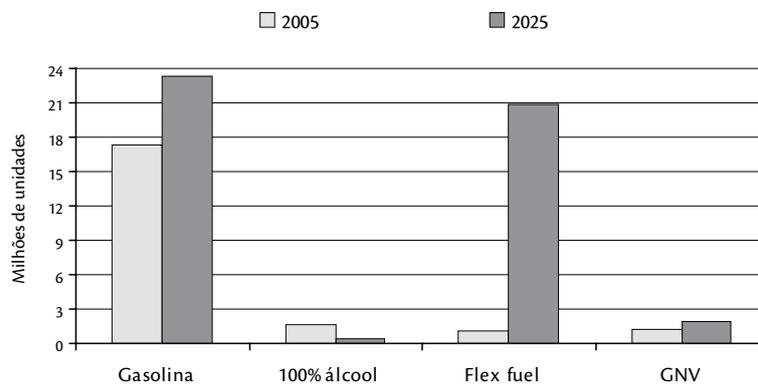
Fonte: Dados de 2005 – ANFAVEA

*Projeções realizadas nesse estudo

¹ Refere-se aos automóveis de passeio e comerciais leves, com Peso Bruto Total (PBT) de até 3,5 toneladas (ANFAVEA, 2005).

Com cerca de 21 milhões de unidades, a participação dos carros *flex* alcançará 45% do total da frota nacional de veículos leves, em 2025. A Gráfico 6-1 destaca essa composição.

Gráfico 6-1: Composição da Frota de Veículos Leves – Brasil



Fonte: Dados de 2005 – ANFAVEA

*Projeções realizadas nesse estudo

Quanto à demanda de bioetanol combustível, partiu-se das seguintes premissas:

- Um litro de álcool hidratado equivale a 0,7 litro de gasolina C, que corresponde ao atual rendimento dos carros *flex*;
- Um litro de gasolina contém 0,25 litro de álcool anidro;
- Oitenta por cento dos carros *flex* utilizam álcool hidratado.

O consumo de bioetanol combustível, somadas as necessidades de álcool anidro e hidratado em 2025, seria de 44,0 bilhões de litros, conforme apresentado na Tabela 6.1-2. Este volume é equivalente a 42,7 bilhões de litros de álcool anidro².

² 1 litro de álcool hidratado = 0,96371 de álcool anidro.



Tabela 6.1-2: Projeção do consumo interno de bioetanol combustível em 2025

| Veículo | Combustível (bilhões de litros) | | |
|--------------|---------------------------------|---------------|------------------|
| | Gasolina A | Álcool Anidro | Álcool Hidratado |
| Gasolina C | 24,488 | 8,163 | 0,000 |
| 100% etanol | 0,000 | 0,000 | 0,885 |
| Flex fuel | 4,389 | 1,463 | 33,439 |
| TOTAL | 28,877 | 9,626 | 34,324 |

Para atender a esta demanda de álcool anidro, mantendo-se os parâmetros utilizados na definição da destilaria padrão (produção de 170 milhões de litros de bioetanol ao ano, requerendo uma área plantada de cana-de-açúcar de 28.000 ha), seriam necessários 7,033 milhões de hectares plantados de cana, além dos quais 1,758 milhões de hectares seriam destinados para área de reserva legal.

6.1.2. Exportações de açúcar

A produção de açúcar aumentou significativamente nos últimos anos no Brasil, principalmente nos últimos seis anos, quando a produção cresceu quase 10 milhões de toneladas, conforme é apresentado na Tabela 6.1-3.

Tabela 6.1-3: Produção brasileira de açúcar (milhões de toneladas)

| Região | Safrá | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 02/03 | 03/04 | 04/05 | 05/06 | 06/07 | 07/08 |
| Norte/Nordeste | 3,789 | 4,493 | 4,536 | 3,808 | 4,158 | 4,826 |
| Centro/Sul | 18,592 | 20,542 | 22,096 | 22,407 | 26,543 | 26,472 |
| Total Brasil | 22,381 | 24,945 | 26,632 | 26,215 | 30,701 | 31,298 |

Fonte: DCAA/SPA/E/MAPI (2008)

As exportações são a principal causa dessa expansão. O Brasil se tornou, nos últimos 10 anos, o maior produtor mundial de açúcar. As exportações brasileiras de açúcar cresceram aceleradamente, de 2,413 milhões de toneladas em 1992 para 19,721 milhões em 2008 – um crescimento médio anual de 14,0%. Elas representaram 61,9% da produção nacional na safra 2007/2008. Essa evolução na produção de açúcar voltada para exportação pode ser observada na Tabela 6.1-4

Tabela 6.1-4: Exportações de Açúcar – Brasil

| Ano | US\$ (milhões) | Toneladas (milhões) | Preço Médio (US\$/t) |
|------|----------------|---------------------|----------------------|
| 1992 | 599 | 2,413 | 248,24 |
| 1993 | 787 | 3,058 | 257,36 |
| 1994 | 992 | 3,433 | 288,96 |
| 1995 | 1.919 | 6,239 | 307,58 |
| 1996 | 1.611 | 5,379 | 299,50 |
| 1997 | 1.771 | 6,372 | 277,93 |
| 1998 | 1.943 | 8,371 | 232,15 |
| 1999 | 1.911 | 12,100 | 157,91 |
| 2000 | 2.278 | 11,168 | 203,92 |
| 2001 | 1.199 | 6,502 | 184,41 |
| 2002 | 2.090 | 13,344 | 156,65 |
| 2003 | 2.140 | 12,914 | 165,71 |
| 2004 | 2.640 | 15,764 | 167,49 |
| 2005 | 3.919 | 18,147 | 215,95 |
| 2006 | 6.167 | 18,870 | 326,81 |
| 2007 | 5.100 | 19,359 | 263,47 |
| 2008 | 5.539 | 19,721 | 280,87 |

Fonte: MAPA baseado em Secex (Sistema Alice)

As estimativas de expansão da produção de açúcar do Brasil foram feitas baseando-se no comportamento previsto da demanda interna e das exportações. Dado que o consumo interno *per capita* brasileiro é muito elevado e se situa em 55 kg ao ano, estimou-se que o crescimento do mercado

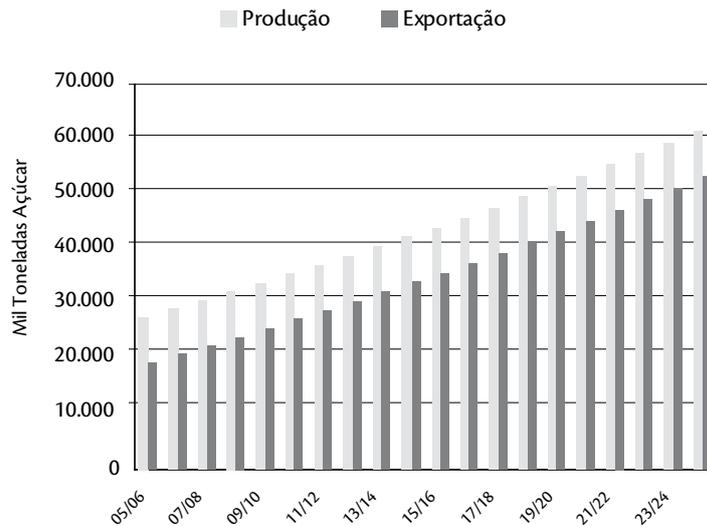


interno seria apenas vegetativo e acompanharia o crescimento demográfico previsto pelo IBGE para os próximos 20 anos, ou seja, de 0,96% a.a..

Já as exportações deverão crescer mais rapidamente, em decorrência do grande potencial de expansão do mercado mundial. Estima-se que as exportações mundiais de açúcar deverão crescer 2% a.a. nos próximos 20 anos. Por ser o país que dispõe de maior capacidade para expandir a sua oferta e exportações, estimou-se, para a elaboração do cenário de referência, que o Brasil ocupará metade do aumento da oferta mundial de açúcar. Esse crescimento das exportações brasileiras é compatível com a tendência verificada no passado.

Esses dois fatores de expansão devem fazer com que a produção de açúcar no Brasil aumente 135% em um período de 20 anos em relação a 2005 (aumento médio de 3,87% ao ano), alcançando a marca de 61,5 milhões de toneladas na safra 2025/2026. As evoluções da produção e das exportações brasileiras de açúcar são mostradas no Gráfico 6-2.

Gráfico 6-2: Evolução da Produção e Exportação de Açúcar



Adotando-se uma base de 138,55 kg de açúcar por tonelada de cana³ e um rendimento de 71,4 tc/ha plantado, tem-se um rendimento de 9.892 kg de açúcar por hectare plantado de cana. Nas condições existentes nas regiões mais produtivas do país, para satisfazer às necessidades de crescimento das exportações de açúcar e, em menor medida, o crescimento vegetativo do mercado interno, se-

³ A tonelada de cana de referência usada para os exercícios de simulação contém 159 kg de ART. Adotou-se a taxa de conversão da STAB em que 1,63 Kg de açúcar = 1 litro de álcool anidro. Esse rendimento é válido em um sistema híbrido em que a usina produz simultaneamente açúcar e etanol.

riam necessários aproximadamente 3,6 milhões de hectares de novas terras, além dos 20% (900 mil ha) que permaneceriam como área de reserva legal.

6.2. Dinamização da oferta de álcool anidro

Os aumentos de produtividade decorrentes da trajetória natural da agroindústria e da introdução da hidrólise impactariam a demanda de cana-de-açúcar, e conseqüentemente a demanda de terras. Para analisar essas transformações, recapitulamos as alternativas tecnológicas que possibilitariam o aumento da produtividade do bioetanol de cana-de-açúcar, e, em seguida, elaboramos o cenário de expansão da oferta de bioetanol para atender as metas de exportação do cenário analisado (205 bilhões de litros em 2025).

6.2.1. Alternativas Tecnológicas

Os cenários foram elaborados tomando-se por base uma destilaria padrão, que processa 2 milhões de toneladas de cana ao ano em uma área plantada de 28.000 ha, produzindo 170 milhões de litros de etanol. Logo, as produtividades médias, agrícola e industrial, são de 71,43 toneladas de cana por hectare plantado e 85 litros de bioetanol por tonelada de cana processada, resultando em uma produtividade combinada de 6.071 litros de bioetanol por hectare plantado de cana.

O cenário passou, então, a ser dinamizado, incorporando o progresso técnico. Este foi considerado em diversos níveis. Em primeiro lugar introduziu-se o progresso técnico na etapa agrícola. Esse aspecto já foi destacado no capítulo 4 (item 4.1), dedicado ao estudo de terras. Agora introduz-se o progresso técnico na etapa industrial, considerando a otimização e a melhora nos processos de extração do caldo e de separação do etanol. A hidrólise foi contemplada em duas grandes safras tecnológicas. A primeira estaria madura em um prazo de 10 anos, denominada de hidrólise I, ao passo que a segunda, denominada de hidrólise II, estaria em um prazo de 20 anos. O processo de hidrólise I consistiria em uma etapa intermediária em que ocorreria uma hibridação da hidrólise química com a hidrólise enzimática. O processo de transformação do bagaço em açúcares seria parcial, afetando a celulose. Na hidrólise II, o processo de transformação da matéria-prima seria mais completo, envolvendo também a hemicelulose, e inteiramente biológico. O que mudaria de uma tecnologia de hidrólise para outra seria o aumento da proporção de bagaço e de palha da cana utilizada como matéria-prima no processo de transformação em etanol. Essas proporções seriam mais elevadas no processo de hidrólise II, devendo-se a maiores eficiências energéticas no aproveitamento do bagaço para o processo industrial e em uma maior proporção de recolhimento da palha na colheita, que atingiria 50%.



Os ganhos obtidos com a otimização das plantas (no que diz respeito aos processos de extração, fermentação e destilação), com os rendimentos dos dois processos de hidrólise e com a produtividade agrícola, que foram detalhados nos capítulos 3 e 4, respectivamente, são mostrados sinteticamente na Tabela 6.2-1.

Tabela 6.2-1: Evolução das produtividades nas fases industrial e agrícola

| | Destilaria Padrão Atual | Destilaria Padrão Otimizada | 10 anos | 20 anos |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Rendimento na extração (%) | 96,00 | 96,26 | 97,00 | 98,00 |
| Rendimento na fermentação (%) | 89,26 | 89,71 | 91,50 | 92,00 |
| Rendimento na destilação (%) | 99,00 | 99,5 | 99,75 | 99,8 |
| Conversão efetiva AEAC/ tc (l/tc) | 85,00 | 88,28 | 91,00 | 92,48 |
| Hidrólise I (l/tc) | | | 12,60 | |
| Hidrólise II (l/tc) | | | | 31,80 |
| Total c/ hidrólise (l/tc) | 85,00 | 88,28 | 103,60 | 124,28 |
| Produtividade agrícola* (tc/ha) | 71,43 | 71,43 | 80,95 | 89,35 |
| Produtividade total (l/ha) | 6.071 | 6.306 | 8.386 | 11.104 |

* Toma-se como referência as terras de produtividade média na região Centro-Sul

A maneira como se comportarão os cenários dependerá, fundamentalmente, da forma como esse conjunto de tecnologias se difundirá. A estimativa da evolução das produtividades agrícolas já foi apresentada anteriormente, e deverão aumentar de forma diferenciada entre as principais regiões

do país, tendendo a reduzir o *gap* tecnológico entre as regiões mais e menos desenvolvidas do país. No plano industrial, as variações decorrerão dos diferentes ritmos de introdução das novas safras tecnológicas. Pressupõe-se, também, que a incorporação de novas técnicas industriais de produção ocorrerá apenas nas novas plantas, e que não haverá mudança nas destilarias já implantadas.

6.2.2. Cenários de Expansão da Oferta

A introdução das variantes tecnológicas nos levou a explorar um número maior de possibilidades ao que fora estabelecido inicialmente. A adoção ou não das novas tecnologias industriais, apresentadas anteriormente, e a velocidade com que essas tecnologias irão se difundir no novo parque de destilarias, construído para atender as metas do cenário estudado, permitem projetar trajetórias diferenciadas de difusão tecnológica. Esses cenários respondem à necessidade de se avaliar qual seria o impacto da maior ou menor adoção do conjunto de novas tecnologias.

O desenvolvimento dessas novas tecnologias decorrerá dos esforços e dos recursos alocados em P&D pelo país, cujo montante e modelo institucional são apresentados no Capítulo 9. Para clarificar essas opções, foram elaborados quatro cenários tecnológicos.

O primeiro cenário – denominado “Sem Tecnologia” – contempla a manutenção das condições de produção média iniciais ao longo dos próximos 20 anos. O segundo –denominado de “Tecnologia Prudente” – pressupõe a penetração mais lenta das tecnologias de otimização dos processos produtivos das destilarias e a introdução da hidrólise I apenas a partir de 2015, não havendo adoção da hidrólise II. O terceiro cenário – denominado de “Tecnologia Progressiva” – teria uma difusão mais rápida das tecnologias de otimização das plantas, assim como a hidrólise I começaria a ser adotada a



partir de 2010, e a hidrólise II a partir de 2020. Finalmente, haveria um quarto cenário – denominado de “100% tecnológico” – que pressuporia a adoção, após o décimo ano, das tecnologias com maior eficiência de extração e destilação, assim como da hidrólise II, em todo o parque de destilarias, que começaria a ser construído apenas desde então. Os rendimentos da fase industrial desses quatro cenários são apresentados na Tabela 6.2-2.

Tabela 6.2-2: Rendimentos industriais (l/tc) dos 4 cenários tecnológicos

| Item | | Sem Tecnologia | Tecnologia Prudente | Tecnologia Progressiva | 100% Tecnológico |
|---------|-----------|----------------|---------------------|------------------------|------------------|
| Atual | Planta | 85,00 | 85,00 | 88,00 | |
| | Total | 85,00 | 85,00 | 88,00 | |
| 5 anos | Planta | 85,00 | 88,00 | 89,50 | |
| | Hidrólise | | | 6,30 | |
| | Total | 85,00 | 88,00 | 95,80 | |
| 10 anos | Planta | 85,00 | 91,00 | 91,00 | 92,48 |
| | Hidrólise | | 12,60 | 12,60 | 31,80 |
| | Total | 85,00 | 103,60 | 103,60 | 124,28 |
| 15 anos | Planta | 85,00 | 91,00 | 91,70 | 92,48 |
| | Hidrólise | | 12,60 | 22,20 | 31,80 |
| | Total | 85,00 | 103,60 | 113,90 | 124,28 |
| 20 anos | Planta | 85,00 | 92,48 | 92,48 | 92,48 |
| | Hidrólise | | 31,80 | 31,80 | 31,80 |
| | Total | 85,00 | 124,28 | 124,28 | 124,28 |

O comportamento dos cenários não depende apenas dos distintos rendimentos tecnológicos, mas também da composição do parque de destilarias. A evolução da produção de cana-de-açúcar, dos rendimentos da etapa industrial e do número de destilarias necessárias para alcançar as metas de exportação de cada cenário é mostrada na Tabela 6.2-3.

Tabela 6.2-3: Cenários tecnológicos de exportação de etanol

| | Produção de cana (milhões t) | | Rendimento (l/tc) | | nº Destilarias | |
|------------------------|---------------------------------|---------|----------------------|-------|----------------|-------|
| | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 |
| Sem Tecnologia | 750,0 | 2.411,8 | 85,0 | 85,0 | 375 | 1.206 |
| Tecnologia Prudente | 726,9 | 2.102,6 | 87,7 | 97,5 | 364 | 1.052 |
| Tecnologia Progressiva | 688,4 | 2.007,8 | 92,6 | 102,1 | 344 | 1.004 |
| 100% Tecnológico | 512,9 | 1.649,2 | 124,3 | 124,3 | 257 | 825 |

A evolução tecnológica reduzirá consideravelmente as necessidades de produção de cana-de-açúcar e de destilarias. O cenário “100% tecnológico” retrata uma situação hipotética em que se esperasse por um período de 10 anos, durante o qual as novas tecnologias seriam desenvolvidas. Após essa etapa, se iniciaria a construção de novas unidades com apenas a tecnologia mais avançada. Nesse cenário, seria necessário apenas 68% da quantidade de cana e do número de destilarias, em relação à situação em que se mantivesse a tecnologia da destilaria padrão nos próximos 20 anos. O cenário mais factível é uma situação intermediária, provavelmente mais próxima ao cenário chamado de “Tecnologia Progressiva”. Esse caso será adotado como cenário tecnológico de referência para avaliar os impactos econômicos.

O esforço exportador que representa atingir a meta do cenário analisado foi repartido dentro do território nacional buscando-se priorizar as regiões com grande potencial de produção. O aumento da produção foi projetado para ocorrer fora das atuais regiões produtoras (São Paulo, Paraná e Zona da Mata Nordestina). As novas áreas produtoras se localizariam nas regiões Centro-Oeste (MT, MS e GO), Nordeste (BA, CE e RN), Norte (TO) e Sudeste (MG).



A meta de produção de 205 bilhões de litros ao ano em 2025 seria realizada de forma gradual e cumulativa, concentrando-se na segunda metade do período. As necessidades de cana do cenário tecnológico seriam reduzidas em mais de 400 milhões de toneladas, embora os requisitos de investimento desse cenário sejam superiores. A região Centro-Oeste seria responsável pelo maior esforço, sendo seguida pela região Nordeste.

Tabela 6.2-4: Cenários sem e com tecnologia: produção de etanol, cana-de-açúcar e investimentos

| | | Norte | | Nordeste | | Centro Oeste | | Sudeste | | Brasil | |
|-------------------------------|----|-------|--------|----------|--------|--------------|----------|---------|--------|--------|----------|
| | | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 |
| Etanol (bilhões l) | | 4,16 | 9,71 | 17,85 | 75,82 | 31,20 | 89,35 | 10,54 | 30,13 | 63,75 | 205,22 |
| Participação (%) | | 6,5 | 4,7 | 28,0 | 36,9 | 48,9 | 43,5 | 16,5 | 14,7 | 100,0 | 100,0 |
| Cana (milhões de t) | ST | 48,93 | 114,28 | 210,00 | 891,99 | 367,04 | 1.051,20 | 124,03 | 354,24 | 750,00 | 2.411,71 |
| | % | 6,5 | 4,7 | 28,0 | 37,0 | 48,9 | 43,6 | 16,5 | 14,7 | 100,0 | 100,0 |
| | TP | 43,67 | 91,99 | 187,41 | 718,01 | 336,77 | 887,61 | 113,80 | 299,36 | 681,65 | 1.996,97 |
| | % | 6,4 | 4,6 | 27,5 | 36,0 | 49,4 | 44,4 | 16,7 | 15,0 | 100,0 | 100,0 |
| Investimento (R\$ bilhões) | ST | 8,11 | 15,70 | 34,79 | 122,56 | 61,07 | 149,13 | 20,64 | 50,30 | 124,61 | 337,68 |
| | % | 6,5 | 4,6 | 27,9 | 36,3 | 49,0 | 44,2 | 16,6 | 14,9 | 100,0 | 100,0 |
| | TP | 8,42 | 20,51 | 36,15 | 130,50 | 63,24 | 161,24 | 21,36 | 54,41 | 129,18 | 366,66 |
| | % | 6,5 | 5,6 | 28,0 | 35,6 | 49,0 | 44,0 | 16,5 | 14,8 | 100,0 | 100,0 |

ST: Sem Tecnologia

TP: Tecnologia Progressiva

6.2.3. Balanço de Terras

A demanda de terras para a cultura de cana-de-açúcar aumentaria substancialmente nos dois cenários tecnológicos principais, conforme pode ser observado na Tabela 6.2-5, a seguir. O progresso técnico exerceria um efeito moderador sobre a demanda de terras. Retomando-se os quatro cenários tecnológicos, obter-se-ia uma redução substancial da demanda de terras nas três variantes tecnológicas. As reduções da demanda de terras seriam ainda maiores no cenário 100% tecnológico.

Tabela 6.2-5: Balanço de terras de acordo com o cenário tecnológico

| | Área Apta e Disponível (milhões ha) | Área utilizada (milhões ha) | | | | | | | |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------|---------------|
| | | Sem Tecnologia | | Tecnologia Prudente | | Tecnologia Progressiva | | 100% Tecnológico | |
| | | 2025 (Ano 20) | 2015 (Ano 10) | 2025 (Ano 20) | 2015 (Ano 10) | 2025 (Ano 20) | 2015 (Ano 10) | 2025 (Ano 20) | 2015 (Ano 10) |
| TOTAL | 80,15 | 10,72 | 30,16 | 10,4 | 26,24 | 9,76 | 24,96 | - | 19,44 |
| Alto+Médio | 43,29 | 5,44 | 14,96 | 5,28 | 13,04 | 4,96 | 12,32 | - | 9,52 |
| Baixo | 36,86 | 5,28 | 15,2 | 5,12 | 13,2 | 4,8 | 12,64 | - | 9,92 |

O Balanço de Terras mostra que existem terras em quantidade suficiente para alcançar a meta de exportação de 205 bilhões de litros. O uso apenas das terras de qualidade alta e média seriam suficientes em 3 dos 4 cenários. A necessidade de área total para o cenário tecnológico “Sem tecnologia” seria de 30,16 milhões de hectares plantados de cana-de-açúcar, enquanto que a área total para o cenário tecnológico “Tecnologia Progressiva” seria de 24,96 milhões de hectares, representando uma variação de 5,20 milhões de hectares.

Se adicionarmos a essa demanda as demais necessidades de áreas para exportação de açúcar e para atender a demanda do mercado interno de etanol, chega-se ao quadro de demanda e disponibilidade de terras para a cultura de cana-de-açúcar apresentado na Tabela 6.2-6. As necessidades de terras para a produção de açúcar dependerão também da aplicação de novas tecnologias. Supondo, como foi feito para o etanol, que haveria um aumento da produtividade tanto na fase agrícola



quanto na industrial, obteremos um quadro mais favorável de demanda de terras, configurando a alternativa de maior conteúdo tecnológico, também mostrado na Tabela 6.2-6.

Tabela 6.2-6: Expansão da área total plantada de cana-de-açúcar (milhões de hectares)

| Tecnologia | Exportações de Etanol | Açúcar | Etanol Mercado Interno | Total | Área Apta e disponível em 2025 |
|-------------|-----------------------|--------|---------------------------|-------|-----------------------------------|
| Atual | 30,16 | 3,60 | 6,80 | 40,48 | 80,15 |
| Progressiva | 24,96 | 3,20 | 4,88 | 33,04 | 80,15 |

Comprova-se que a situação é favorável. Existe disponibilidade de terras para atender as necessidades, apenas na variante com tecnologia atual, teve que se recorrer também às terras de produtividade baixa para atender a todas as necessidades de expansão da agricultura brasileira nos próximos 20 anos.

O Programa de Biodiesel pode representar uma demanda adicional de terras agrícolas que precisa ser contemplada em nosso exercício prospectivo. As metas iniciais estipuladas pelo governo foram que a mistura alcance 2% (B2) em 2008⁴, e 5% em 2013 (B5). Constitui-se em um mercado substancial, mesmo sem incorporar nenhum crescimento em relação à atualidade. Os números são de 800 milhões de litros em 2008, e 2 bilhões em 2013 de biodiesel. Se for obtido a partir de uma cultura de uma oleaginosa ou da mamona, obtém-se um rendimento próximo de 500 litros por hectare, o que implicaria em necessidades adicionais de terras da ordem de 4 milhões de hectares para a mistura B5.

Ainda que supuséssemos que o crescimento da produção de oleaginosas para biodiesel se circunscrevesse às 17 áreas estudadas pelo estudo, haveria terras suficientes para atingir a meta de 2 bilhões de litros. As demandas de terras de oleaginosas para combustível teriam que ser da mesma magnitude que a de bioetanol para exportação para que isso representasse uma pressão insustentável sobre a base de recursos do país. Porém, nesse caso, o país produziria apenas 15 bilhões de litros de biodiesel, representando um pequeno volume quando comparado aos 200 bilhões de litros de bioetanol obtidos com a mesma superfície de terras.

⁴ Alterada pelo Governo para 3% a partir de julho de 2008.

6.3. Potencial da geração de eletricidade excedente nas áreas selecionadas

Considerada a moagem de cana referente ao cenário analisado (substituição de 10% da demanda mundial de gasolina em 2025), estimada nas 17 áreas selecionadas para a expansão da produção de bioetanol nos horizontes 2015 e 2025, o potencial de geração de eletricidade excedente nas destilarias foi então calculado. A distribuição da moagem para os cenários “Tecnologia Prudente” e “Tecnologia Progressiva” nos dois períodos analisados, de acordo com a tecnologia empregada nas destilarias, seguiu a distribuição apresentada na Tabela 6.3-1.

Os resultados do potencial são apresentados na Tabela 6.3-2, para os quatro cenários tecnológicos apresentados no item anterior.

Tabela 6.3-1: Distribuição da moagem para os cenários tecnológicos “Prudente” e “Progressivo”

| Ano | 2015 | | | 2025 | | |
|-------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Cenário | Otimizada ¹ | Hidrólise I ² | Hidrólise II ³ | Otimizada ¹ | Hidrólise I ² | Hidrólise II ³ |
| Prudente | 100,00% | 0% | 0% | 34,57% | 65,43% | 0% |
| Progressivo | 64,78% | 35,22% | 0% | 23,98% | 62,32% | 13,70% |

¹ referente a destilarias sem planta de hidrólise com produção de bioetanol de 88 l/t cana

² referente a destilarias com planta de hidrólise com produção de bioetanol de 103,6 l/t cana

³ referente a destilarias com planta de hidrólise com produção de bioetanol de 124,3 l/t cana

A produção de eletricidade no Brasil em 2005 foi igual a 402,9 TWh, sendo o consumo final igual a 375,2 TWh. Considerando um simples modelo de crescimento tendencial do consumo de eletricidade no país, tendo por base as taxas de crescimento do consumo de eletricidade nos últimos anos, pode-se estimar o consumo de 564,2 TWh em 2015 e de 781,4 TWh em 2025. Portanto, os resultados apresentados na Tabela 6.3-2 indicam que a geração de eletricidade excedente nas destilarias seria 5,3% do consumo projetado em 2015 no caso do cenário “Sem Tecnologia”, e poderia chegar a 15,6% no caso do cenário “Prudente”, no qual há maior número de destilarias sem planta de hidrólise, e que possuem maior índice de geração de excedente de eletricidade. Para 2025, considerando os mesmos cenários, a geração de eletricidade excedente representaria, respectivamente, 12,3% e 23,6% do consumo projetado.



Tabela 6.3-2: Eletricidade excedente gerada (GWh/ano) nas áreas de expansão selecionadas, segundo cenários tecnológicos

| | Sem tecnologia | | Prudente | | Progressivo | | 100% Tecnológico | |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------------|---------------|
| | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 | 2015 | 2025 |
| Área 1 - MT (NE) | - | 5.993 | - | 6.440 | - | 9.506 | - | 5.609 |
| Área 2 - MT (SO) | - | 5.969 | - | 6.415 | - | 9.469 | - | 5.587 |
| Área 3 - MT (C) | - | 1.199 | - | 1.288 | - | 1.901 | - | 1.122 |
| Área 4 - GO (S) | 1.200 | 2.397 | 3.527 | 5.800 | 2.617 | 3.802 | - | 2.243 |
| Área 5 - MS (S) | 1.200 | 1.199 | 3.527 | 4.512 | 2.617 | 1.901 | - | 1.122 |
| Área 6 - MS (E) | 7.198 | 14.430 | 21.160 | 34.852 | 15.700 | 22.889 | - | 13.505 |
| Área 7 - MG (SO) | 3.623 | 7.238 | 10.649 | 17.515 | 7.901 | 11.482 | - | 6.774 |
| Área 8 - CE+PB+RN | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Área 9 - BA+PI+MG | - | 13.584 | - | 14.597 | - | 21.547 | - | 12.713 |
| Área 10 - MA(S)+TO(N) | 3.623 | 12.973 | 10.649 | 23.677 | 7.901 | 20.578 | - | 12.141 |
| Área 11 - TO+GO | 1.223 | 1.222 | 3.596 | 4.601 | 2.668 | 1.938 | - | 1.144 |
| Área 12 - GO (C) | 4.775 | 8.367 | 14.037 | 21.825 | 10.416 | 13.271 | - | 7.830 |
| Área 13 - BA (C) | - | 3.572 | - | 3.839 | - | 5.666 | - | 3.343 |
| Área 14 - BA-MG | 2.614 | 11.260 | 7.685 | 19.127 | 5.702 | 17.861 | - | 10.538 |
| Área 15 - BA; MG (SE) | - | 1.222 | - | 1.313 | - | 1.938 | - | 1.144 |
| Área 16 - BA (SE) | 4.543 | 5.855 | 13.355 | 18.502 | 9.909 | 9.287 | - | 5.480 |
| Área 17 - RR | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 30.000 | 96.480 | 88.185 | 184.302 | 65.432 | 153.037 | - | 90.294 |

Considerando o cenário “Progressivo”, que se estima ser o mais realista, uma vez que prevê uma introdução gradual das novas tecnologias, o excedente de eletricidade gerado nas destilarias previstas representaria 11,6% da demanda elétrica nacional em 2015 e 19,6% em 2025.

Em função das áreas selecionadas para a expansão da produção de etanol, em 2015 o potencial de geração de eletricidade excedente estaria 45% concentrado nas áreas 6, 9, 10 e 14 para os cenários

“Sem Tecnologia” e “Progressivo”. Em 2025 a participação dessas áreas chegaria a 54% para os mesmo cenários. Outras áreas, como as identificadas como 1, 2, 7, 12 e 16, também apresentam potencial significativo, contribuindo com mais de 43% do total projetado pelos cenários “Sem Tecnologia” e “Progressivo” em 2015, porém apresentam redução de sua participação para 35% em 2025.

No caso do cenário “Progressivo”, a concentração da geração de eletricidade excedente nas áreas 6, 9, 10, 12 e 14 seria equivalente a 60,7% do potencial estimado em 2015 (aproximadamente 7% da geração elétrica estimada para o Brasil) e a 62,8% do potencial em 2025 (12,3% da geração elétrica total).

Na Figura 6.3-1 apresenta-se, em destaque, a localização dessas cinco áreas. Pode-se ver que as áreas 6 e 12, com os maiores potenciais até 2015, ficam próximas dos centros de carga elétrica, o que significa que os custos de transmissão poderiam ser significativamente reduzidos em relação à alternativa de expansão da capacidade de geração com a construção de hidroelétricas na região Norte do país. Já em 2025, além da área 6, as áreas 9, 10 e 14 seriam as de maior potencial, indicando a possibilidade de geração elétrica em larga escala nas regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, o que seria muito importante para induzir a descentralização do crescimento econômico.

Já no caso do cenário “Prudente”, a concentração da geração de eletricidade excedente nas áreas A6, A9, A10, A12, A14 e A16 seria equivalente a 75,8% do potencial estimado em 2015 (aproximadamente 12% da geração elétrica estimada para o Brasil) e a 71,9% do potencial em 2025 (17% da geração elétrica total).

Ainda na Figura 6-3, pode-se ver que a área 16, que teria significativo potencial de geração de eletricidade excedente, localiza-se próxima aos centros de carga elétrica na região Nordeste.

A viabilização desse potencial de produção de eletricidade excedente requer a adoção de uma política de fomento direcionada. Primeiro, é preciso viabilizar os investimentos em sistemas baseados na geração de vapor a 90 bar, 520°C, que é tecnologia atualmente disponível, mas que ainda não é empregada. A geração de vapor a temperaturas maiores resultaria em potencial ainda maior, mas para tanto seria também preciso vencer os problemas econômicos relacionados ao custo de geradores de vapor com aços especiais. Investimentos em larga escala em equipamentos padronizados resultariam significativa redução dos custos.

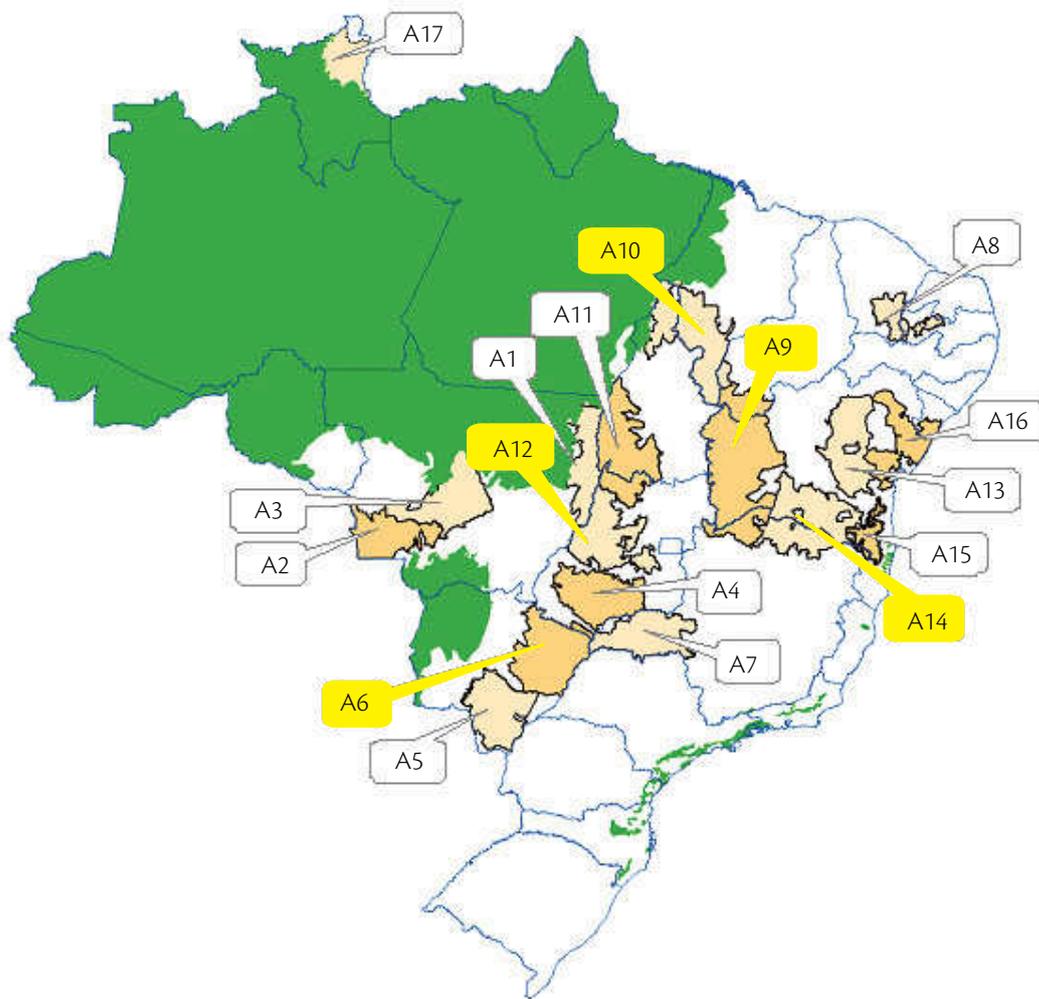


Figura 6-3: Regiões com maior potencial de produção de eletricidade excedente (identificadas em amarelo)

Segundo ponto, é necessário que os futuros empreendimentos estejam fisicamente concentrados, o que viabilizaria a construção de linhas de transmissão para escoar a eletricidade gerada. Como mencionado, a indução da expansão da produção de bioetanol em determinadas regiões do país teria a vantagem adicional de também induzir a viabilização de um significativo potencial de geração de energia elétrica em locais próximos dos atuais centros de carga elétrica, e em regiões nas quais poderiam ser induzidos pólos de desenvolvimento.

Terceiro, é preciso que uma fração significativa desse potencial seja viabilizada no âmbito de um programa de fomento específico, direcionado unicamente à geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana, em áreas pré-definidas, e com emprego de tecnologias de maior eficiência. O potencial estimado seria significativamente sub-aproveitado se fossem adotados os procedimentos atuais de comercialização da eletricidade excedente gerada em usinas de açúcar e etanol.

Finalmente, em função da expressiva – potencial – contribuição da geração de eletricidade com biomassa residual da cana-de-açúcar, da possibilidade de que os custos sejam relativamente baixos, e também da necessidade de que esses investimentos sejam induzidos, é desejável que a geração de eletricidade no setor sucroalcooleiro seja explicitamente considerada no planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro.

6.4. Impactos macroeconômicos dos cenários de exportação

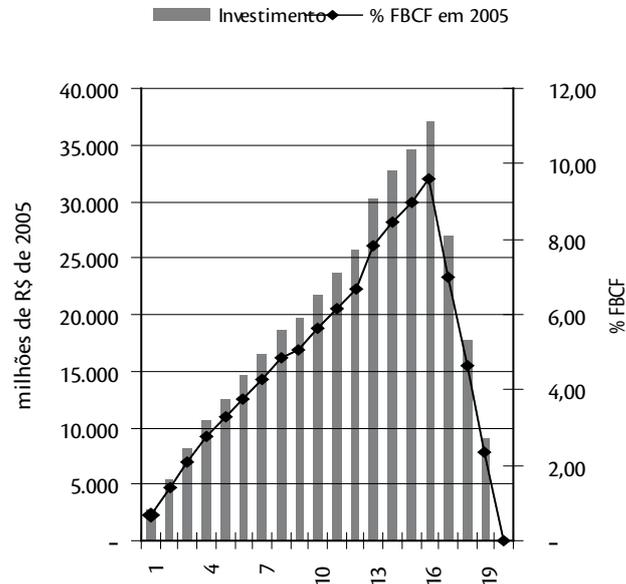
O esforço que seria realizado para que o Brasil alcançasse as metas de exportação definidas no cenário estudado são compatíveis com o tamanho alcançado pela economia brasileira na atualidade e as projeções de desenvolvimento no futuro.

A título de comparação, a Petrobras investiu, em 2006, R\$ 33,7 bilhões no conjunto de atividades tanto no país quanto no exterior. A mesma empresa deverá investir, em valores atuais, R\$ 32 bilhões anualmente, somente no território nacional, entre 2007 a 2011.

No cenário avaliado neste trabalho, o impacto causado pela consecução de suas metas deverá ser substantivamente significativo, conforme pode ser comprovado no Gráfico 6-4.



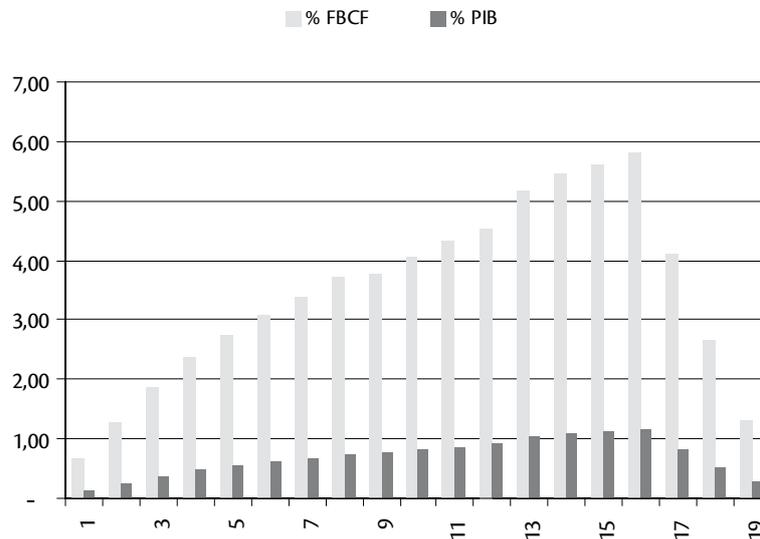
Gráfico 6-4: Relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) no cenário “Tecnologia Progressiva”



O volume anual de investimento ultrapassaria os R\$ 35 bilhões em alguns anos e se aproximaria de 10% do volume de formação bruta de capital fixo (FBCF) da economia brasileira em 2005. O esforço envolvido seria atenuado consideravelmente após o décimo sexto ano, mesmo com uma perspectiva de expansão moderada da economia brasileira. Se o ritmo de expansão médio do crescimento doméstico for de 3% a.a. nos próximos 20 anos e se for mantida a mesma taxa de investimento de 2005 (19,9%), esse impacto deve ser mais reduzido, como é possível comprovar no Gráfico 6-5.

O esforço de investimento deveria se aproximar de 6% da FBCF em alguns anos, porém, em termos do PIB, essa participação seria bem menor, e chegaria apenas em alguns anos um pouco mais de 1%. O volume total de investimento para esse cenário seria de R\$ 368,6 bilhões.

Gráfico 6-5: Participação dos investimentos para viabilizar o cenário de exportação de bioetanol em relação ao investimento anual do País e ao PIB (cenário tecnológico “Tecnologia Progressiva”)



Os custos mencionados não envolvem a parte de logística. Esta está avaliada em US\$14,5 bilhões, caso seja usada predominantemente a modalidade dutoviária (ver Capítulo 4 – item 4.3). Esse investimento seria suficiente para escoar até 260 bilhões de litros de bioetanol ao ano. Para se ter uma base de comparação, esses volumes são mais de duas vezes superiores aos atualmente manejados com a distribuição de derivados de petróleo. Ao todo, o volume de investimento a ser realizado, contemplando os investimentos em produção e transporte, seria de R\$ 402 bilhões.

Os impactos do cenário da exportação de 205 bilhões de litros de bioetanol sobre a atividade econômica do país e de suas macrorregiões podem ser apreciados na Tabela 6.4-1, onde são computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos, extraídos do modelo de insumo-produto desenvolvido para este estudo (Capítulo 6).

Os impactos econômicos corresponderiam a 20% do PIB brasileiro de 2005. O impacto é maior para a região Sudeste, devido à maior importância da indústria e dos serviços nessa região. Entretanto, esse impacto varia sensivelmente de acordo com o respectivo porte econômico de cada região do país. A região Centro-Oeste teria o maior aumento regional, aumentando seu PIB 57,0% em decorrência do cenário avaliado, o que equivaleria a dizer que a consecução da meta de exportação de bioetanol induziria um crescimento do PIB da região Centro-Oeste a uma taxa média anual 2,28%, durante 20 anos. A segunda região que mais expressivamente se beneficiaria com a expansão das exportações de bioeta-



no seria a região Nordeste, cujo PIB aumentaria 35,8%. O impacto econômico do cenário contribuiria para o equilíbrio inter-regional porque beneficiaria as regiões menos desenvolvidas do país.

Tabela 6.4-1: Impactos no PIB¹ (R\$ bilhão de 2005) da expansão produtiva do bioetanol no cenário estudado, com e sem avanço tecnológico

| Região/simulação | | Sem tecnologia 2015 | Tecnologia Progressiva 2015 | Sem tecnologia 2025 | Tecnologia Progressiva 2025 |
|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Norte | Impacto | 6,651 | 6,520 | 18,168 | 17,427 |
| | Participação sobre o PIB da Região Norte de 2005 | 6,5% | 6,4% | 17,7% | 17,0% |
| Nordeste | Impacto | 23,596 | 23,296 | 99,904 | 97,621 |
| | Participação sobre o PIB da Região Nordeste de 2005 | 8,7% | 8,5% | 36,7% | 35,8% |
| Centro-Oeste | Impacto | 29,581 | 30,082 | 81,663 | 82,928 |
| | Participação sobre o PIB da Região Centro-Oeste de 2005 | 20,3% | 20,7% | 56,1% | 57,0% |
| Sudeste | Impacto | 49,278 | 48,068 | 150,875 | 142,903 |
| | Participação sobre o PIB da Região Sudeste de 2005 | 4,6% | 4,5% | 14,2% | 13,4% |
| Sul | Impacto | 10,986 | 10,813 | 35,086 | 33,690 |
| | Participação sobre o PIB da Região Sul de 2005 | 3,1% | 3,1% | 9,9% | 9,5% |
| Brasil | Impacto | 120,093 | 118,779 | 385,696 | 374,569 |
| | Participação sobre o PIB brasileiro 2005 | 6,2% | 6,1% | 19,9% | 19,3% |

(1): São computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos

O impacto sobre o comércio exterior brasileiro seria também bastante expressivo. Pressupondo que seria cobrado US\$ 0,30 pelo litro de bioetanol nas destilarias (preço *Free on board* – FOB), o volume de divisas arrecadado pelo país ultrapassaria a barreira de US\$60 bilhões com a exportação de 205 bilhões de litros ao ano.

As exportações acumuladas, de dezembro de 2005 a novembro de 2006, elevaram-se a US\$ 136 bilhões. O valor das exportações de bioetanol alcançado no cenário analisado corresponderia a 45,2% das exportações brasileiras de 2006. Tal valor colocaria o bioetanol muito acima das exportações do complexo soja, que foram de US\$ 9,2 bilhões em 2005.

6.5. Avaliação de riscos de o mercado previsto não se concretizar

O consumo de bioetanol está estimado em 205 bilhões de litros em 20 anos (2025), incluindo-se, nesse total, a substituição de 10% da demanda projetada de gasolina por álcool. A premissa adotada é que o Brasil poderá ser, nessa ocasião, o principal fornecedor de bioetanol combustível no mercado internacional.

Os riscos de que tal hipótese não se concretize estão associados a um dos aspectos abaixo listados, exclusivamente, ou a uma combinação dos mesmos:

- 1 que os fatores que motivam o interesse observado nos últimos anos, e que induzem o aumento do consumo de bioetanol combustível, deixem de existir. Os possíveis fatores que induziriam tal fato são analisados na seqüência;
- 2 que o Brasil não seja capaz de produzir, por qualquer uma das razões que serão analisadas ao longo do texto, os volumes estimados;
- 3 que o Brasil não consiga vender, por qualquer uma das razões que serão também analisadas na seqüência, os volumes projetados para os anos de referência.

6.5.1. Riscos de que o bioetanol não seja importante alternativa

Nos últimos anos, três fatores têm induzido o aumento da produção e do consumo de bioetanol combustível. As justificativas apresentadas pelos países que recentemente definiram políticas específicas indutoras do consumo de bioetanol estão associadas aos seguintes aspectos (ROSILLO-CALLE E WALTER, 2006):



- 1 Ambiental, devido à crescente priorização dessas questões nas diferentes esferas de governança. Um dos fatores motivadores é a desejada melhoria da qualidade do ar nas grandes cidades. Outro fator é a necessidade de substituição de substâncias que aumentam a octanagem do combustível e são ambientalmente problemáticas, como o MTBE. Entretanto, a razão recorrentemente mais citada é a necessidade de mitigação das emissões dos gases precursores do efeito estufa (GEE), com certa preocupação quanto ao cumprimento dos compromissos de mitigação definidos no Protocolo de Quioto;
- 2 Aumento da segurança de suprimento energético, uma vez que a dependência energética, principalmente de petróleo e de seus derivados, em um contexto de preços crescentes e de insegurança em importantes regiões produtoras, é ponto central das políticas da União Europeia e dos Estados Unidos;
- 3 Pressões econômicas e sociais voltadas para a promoção do desenvolvimento rural e a criação de empregos, no caso dos países em desenvolvimento, e para a manutenção da renda e da qualidade de vida dos agricultores, no caso principalmente dos Estados Unidos e da União Europeia⁵. Em associação a tal aspecto, outras razões dizem respeito à necessidade de estabilização dos preços de *commodities* e à redução dos subsídios agrícolas (FAO, 2006).

Em síntese, para os países desenvolvidos, os biocombustíveis são alternativa para a redução de emissão de poluentes e de GEE, bem como para a diversificação da matriz energética. Já os países em desenvolvimento tendem a priorizar o desenvolvimento rural, a criação de empregos e as economias geradas em moeda estrangeira. A segurança energética é mencionada como prioridade pela maioria dos países (ESMAP, 2005). Conjuntamente, outro importante fator a sustentar o destaque dado ao bioetanol é a limitação da capacidade de refino que tem restringido o mercado de petróleo nos últimos anos (IEA, 2006).

A maioria dos estudos indica que a importância do transporte individual deve continuar nas próximas décadas, seja pelo aspecto cultural associado, seja pelos interesses das grandes indústrias (petrolífera e automobilística), e/ou ainda pela enorme inércia que há para a transformação de uma infra-estrutura criada durante décadas, e que para tanto exigiria investimentos fabulosos. No que diz respeito à busca de alternativas aos derivados de petróleo hoje utilizados no setor de transportes, Romm (2006) refere-se ao problema da criação da infraestrutura necessária fazendo paralelo ao dilema “do ovo e da galinha”: o que deve vir primeiro, a infraestrutura de produção, transporte, armazenamento e distribuição, ou os veículos que demandariam os novos energéticos? Quem investiria

⁵ Para a maioria dos países desenvolvidos o setor agrícola é extremamente importante. Os benefícios dados aos agricultores para a produção de biocombustíveis são tidos como meio de reduzir os custos totais e as distorções das políticas de apoio à agricultura praticadas pelos países membros da OECD, cujo montante de subsídios soma US\$ 320 bilhões por ano (HAZELL e PACHAURI, 2006).

na criação da infra-estrutura de abastecimento se o mercado consumidor não estiver garantido, e quem induziria a formação do mercado se o abastecimento não estiver assegurado?

Nesse sentido, uma importante vantagem dos biocombustíveis é que as alterações necessárias na infraestrutura existente são menores em relação, por exemplo, às alternativas “veículos puramente elétricos” e “veículos com células a combustível”. A alternativa de mistura de biocombustíveis aos combustíveis fósseis tradicionais é mais fácil de se viabilizar do que o uso exclusivo de biocombustíveis, embora os desafios associados não sejam de pequena monta. É de se esperar que no futuro as opções de motorização dos sistemas de transporte sejam muito mais diversificadas do que no presente, mas é improvável que mudanças substanciais sejam observadas em menos de 20 anos (GIELEN & UNANDER, 2005). Com efeito, estudo prospectivo da Agência Internacional de Energia (2003) indica que 20 anos é o período mínimo necessário para que haja clareza se uma infraestrutura de transporte totalmente diferente da atual será necessária, ou não. Portanto, a importância dos combustíveis líquidos continuará grande durante pelo menos duas décadas.

Nesse sentido, um dos fatores de risco de que o bioetanol não tenha grande importância em nível mundial pode ser considerado improvável, pois dificilmente haverá, para uso em larga escala, alternativas de motorização melhores do que os combustíveis líquidos no horizonte considerado.

Ainda dentro da mesma lógica, outros fatores de risco estão associados ao fato de que o conjunto de *driving-forces* do etanol, anteriormente mencionadas, deixem de existir em 20 anos. Isso ocorreria, por exemplo, se as questões ambientais deixassem de ser prioritárias, seja porque provar-se-ia nos próximos anos que a ameaça de aquecimento global não existe ou que, no outro extremo, nada mais pode ser feito para se evitar um desastre ambiental de dimensões planetárias. O conhecimento científico atual não permite descartar tais alternativas, mas é evidente que, por outro lado, o conhecimento científico atual também indica que ambas são pouco prováveis.

Outra possibilidade, em princípio igualmente remota em um horizonte de 20 anos, é que a questão da segurança de suprimento energético deixe de ser prioridade para grande parte dos potenciais países importadores de etanol. Uma variante é que os riscos associados ao suprimento de petróleo, tanto do ponto de vista do acesso físico ao produto quanto do ponto de vista de seus altos preços, sejam drasticamente reduzidos. Para tanto, seria preciso que grandes reservas fossem encontradas e pudessem ser exploradas a baixo custo em países que hoje são altamente dependentes de petróleo importado. Mas tal alternativa só seria factível se, adicionalmente, as questões ambientais globais não tiverem a importância que se imagina venham ter nos próximos anos.



Por outro lado, um importante fator de risco está associado ao cenário em que haveria entendimento de que os biocombustíveis, e em particular o bioetanol produzido no Brasil, não são alternativas adequadas do ponto de vista da sustentabilidade, em sentido amplo. Há diversos aspectos que devem ser considerados, incluindo (i) a pressão sobre a oferta e sobre os custos de produção de alimentos, (ii) os potenciais danos ambientais associados à produção de biocombustíveis em larga-escala (desmatamento, ameaça a ecossistemas frágeis, erosão, excessivo consumo d'água, contaminação do solo e de corpos d'água, excessivo emprego de fertilizantes e de agrotóxicos, etc.), e (iii) o mesmo em relação à não existência de reais benefícios sociais (geração e melhor distribuição da renda, criação de empregos socialmente aceitáveis, respeito aos direitos das minorias, etc.). Tal questão pode ter certa dose de subjetividade, uma vez que, por um lado, existem posições pré-concebidas de certos atores e, por outro lado, existem aspectos que são muitos mais importantes para alguns atores, tornando muito difícil a definição de uma posição consensual. A relação de forças entre os atores envolvidos pode induzir determinadas posições, não necessariamente as mais equilibradas do ponto de vista da própria sustentabilidade, em um sentido amplo. Possivelmente, a melhor solução para tal problema potencial seria a definição e o atendimento de critérios mínimos para a certificação da produção, ponto que será analisado mais à frente.

6.5.2. Riscos de que a produção de bioetanol não ocorra como esperado

Um dos riscos a ser considerado é que o Brasil não possa produzir os volumes estimados de bioetanol no horizonte de 10-20 anos. Já foi demonstrado nesse capítulo e no anterior de que esse risco não está associado à disponibilidade de terras e, conseqüentemente, no país não deve existir significativa pressão sobre a produção de alimentos e de matérias-primas.

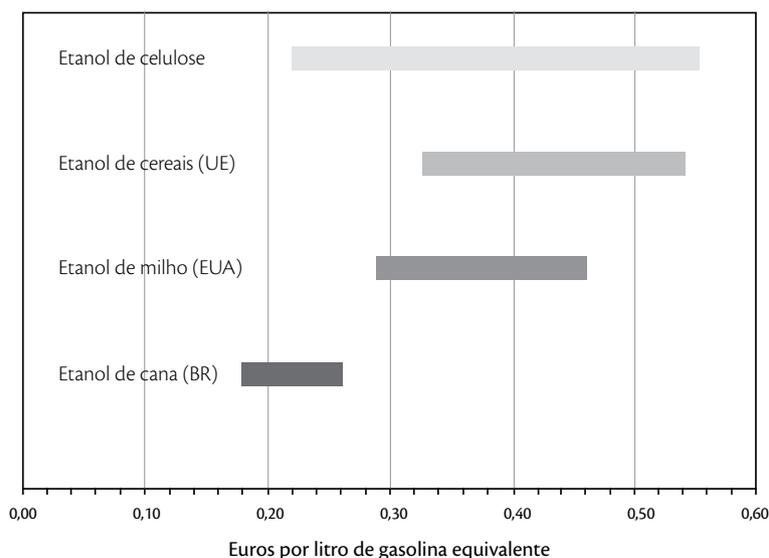
Embora no Brasil haja tradição no desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro, deve ser considerado o risco de que haja dificuldades na expansão da atividade em regiões não tradicionais de produção. O risco é de que os níveis de produtividade sejam menores e, conseqüentemente, os custos de produção sejam maiores durante um período significativo, o que estimularia a entrada de novos produtores ou viabilizaria a consolidação de outros países produtores nos quais a atividade canieira já existe.

Há vários estudos (por exemplo, HAMMELINCK et al., 2005) que mostram que a produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar, nas condições como atualmente ocorrem no Brasil – tecnologia de primeira geração, será imbatível quanto a seus custos, mesmo considerando o eventual sucesso no desenvolvimento de tecnologias como a produção de bioetanol a partir da celulose. No Gráfico 6-6

é apresentada estimativa dos custos de produção de bioetanol e de outros combustíveis alternativos após 2010, considerando diferentes cenários de desenvolvimento das novas tecnologias.

Nota-se que, no futuro, mesmo que os custos da produção de bioetanol no Brasil sejam os mais baixos em relação a qualquer outra alternativa, certa produção de bioetanol a partir da celulose, na Europa e nos Estados Unidos, por exemplo, poderia ser competitiva. Do ponto de vista econômico, considerada a enorme produção prevista, os custos marginais de produção no Brasil da “n-ésima” unidade (relacionada com a produção de 205 bilhões de litros) poderiam ser maiores do que os custos de produção no trecho inicial da curva de oferta de bioetanol a partir de celulose. Também deve ser considerado que diante de um mercado tão atrativo, outros países que tenham condições de produzir bioetanol a baixo custo a partir de cana-de-açúcar também o fariam, seja para atender o mercado interno, seja para exportação.

Gráfico 6-6: Estimativa dos custos de produção de bioetanol em horizonte de 5-20 anos



Fonte: IEA (2004)

Há de se considerar, por outro lado, que toda a infraestrutura de produção e de abastecimento terá de ser construída no Brasil sem que possam ser dadas aos investidores plenas garantias de venda do produto, uma vez que o mercado existirá em outros países. Assim, mesmo com o avanço nas nego-



ciações entre o Brasil e principais países consumidores, e com a definição de acordos, não será possível assegurar a venda de tão grande produção. Por outro lado, se houver crise de abastecimento, novos produtores terão oportunidade de entrar no mercado. Em tal mercado, as barreiras à entrada são relativamente pequenas e as mesmas não poderão ser impostas pelo Brasil. Não sendo possível garantir o mercado, os investidores potenciais identificarão riscos significativos, e deverão ser mais comedidos em suas decisões.

Ademais, a alternativa de diversificação e flexibilização da produção, como ocorre hoje entre a produção de açúcar e de etanol, será muito menor no contexto imaginado, uma vez que não existe mercado para tal quantidade de açúcar (equivalente a 205 bilhões de litros de etanol/ano).

Finalmente, mesmo que a capacidade de produção de bioetanol seja viabilizada, o comércio internacional só existirá se não houver barreiras logísticas, tanto no Brasil quanto no exterior. Para tanto, a infraestrutura de transporte, de armazenamento e de embarque no Brasil deve ser construída de sorte a não impor restrições físicas ou econômicas à comercialização. Os investimentos necessários requerem planejamento e, possivelmente, só ocorrerão com a participação mais ativa do Governo Federal. Para os demais países o Brasil deveria oferecer seu *know-how* com vistas a facilitar o desenvolvimento do mercado.

6.5.3. Riscos de que o mercado internacional não absorva toda a produção potencial brasileira

Um dos riscos, e talvez o principal, está associado ao fato de que o mercado internacional não queira, ou não possa, absorver toda a produção brasileira, em função da necessidade ou da conveniência de fomento à produção local ou, ainda, em função do interesse de se diversificar o fornecimento de etanol, induzindo a existência de mais países exportadores. Inclusive, para reduzir riscos, países com alta capacidade de investimento (EUA, Japão e UE), poderão induzir a formação de capacidade de produção de bioetanol em países que têm condições adequadas.

Uma vez que interesses específicos do setor agrícola têm grande peso nas decisões tomadas na União Europeia e nos Estados Unidos, e como a política de apoio aos biocombustíveis tem também no fomento à agricultura uma de suas principais fundamentações, é de se esperar que, enquanto possível, continuem a existir barreiras à importação ao bioetanol combustível do Brasil. Tal cenário deve persistir ao menos em um horizonte de cinco a dez anos (portanto, até aproximadamente 2016), para viabilizar a amortização dos investimentos já feitos na expansão da capacidade de pro-

dução a partir de milho (nos EUA), cereais e beterraba (na Europa) e, também, para justificar e viabilizar os investimentos no desenvolvimento de tecnologias de produção de biocombustíveis a partir da celulose.

Com tal quadro, seria politicamente desgastante a total abertura dos mercados norte-americano e europeu para o bioetanol brasileiro. A partir de 2016, dependendo da premência da expansão do consumo de etanol, e também dependendo do estágio alcançado na produção local dos biocombustíveis, um cenário possível é o de maior liberalização dos mercados.

Por outro lado, nos principais mercados potencialmente consumidores, exceto o Japão, e no curto prazo, é improvável um cenário em que a dependência externa do bioetanol combustível seja maior do que a atual dependência externa em relação ao petróleo: importação de 65% nos EUA, em 2005, e de 80% na União Européia, no mesmo ano (BP, 2006). O Japão é excluído da análise porque o país já é totalmente dependente de petróleo importado. Principalmente nos EUA, onde o argumento da segurança de suprimento energético é priorizado, é improvável uma solução de alta dependência externa no suprimento de etanol, sobretudo em um eventual mercado quase monopolista e, sobretudo, em detrimento dos interesses dos agricultores locais. Assim, boa parte da produção local, embora cara e com balanço energético pouco favorável, deve ser preservada para atender a base da demanda nos mercados europeu e norte-americano.

Adicionalmente, a preservação de espaço para a produção local dará tempo para que a tecnologia de produção de biocombustíveis a partir da celulose alcance estágio comercial e possa percorrer sua curva de aprendizado, com redução dos custos. Em um ambiente de livre mercado, seria mais cara a adoção de políticas de proteção às novas tecnologias de produção de etanol.

Adicionalmente, entende-se que a difusão da produção de biocombustíveis nos países em desenvolvimento, e principalmente nos países menos desenvolvidos, é a melhor estratégia para aliviar a pobreza, criar oportunidades de desenvolvimento rural, reduzir a importação de petróleo e aumentar o acesso a serviços energéticos modernos (UNITED NATIONS FOUNDATION, 2006). Embora haja certa controvérsia, a posição mais aceita é de que a produção em países em desenvolvimento deve, primeiro, estar voltada ao atendimento do consumo próprio, e depois, desde que potencialmente competitiva, voltada à exportação. A estratégia apresentada pela Comissão Europeia relativa aos biocombustíveis faz menção explícita ao fato de que suas políticas devem ter impacto benéfico na criação da capacidade de produção em outros países, e que acesso preferencial ao mercado europeu deve ser dado a países Africanos, Caribenhos e Asiáticos (FÖRSTER et al., 2006). Em alguns textos,



inclusive, menciona-se que o Brasil é o único país que é competitivo com os regimes tarifários MFN⁶ aplicados ao bioetanol combustível pela União Europeia e pelos Estados Unidos. Assim, apoios específicos à produção brasileira são, em princípio, considerados desnecessários.

Na mesma linha de raciocínio de induzir melhorias nas condições de vida em países menos desenvolvidos a partir do apoio à produção local de biocombustíveis, tem sido recentemente citado na imprensa que os Estados Unidos entendem que a produção de biocombustíveis em países em desenvolvimento fomentaria a geração de empregos em larga escala e, assim, haveria redução do fluxo migratório. Nesse sentido, mais do que priorizar a importação de bioetanol do Brasil, interessaria aos Estados Unidos diversificar geograficamente a produção em países da América Latina.

Förster et al. (2006) mencionam que uma política de livre mercado ao bioetanol na União Europeia resultaria (i) no aniquilamento da capacidade de produção local, que não teria condições de competir com a produção brasileira (principalmente), (ii) na concentração da produção europeia no biodiesel, com impactos indesejáveis na produção de países que almejam exportar esse energético para a Europa⁷, e (iii) o cerceamento do desenvolvimento da indústria de bioetanol em outros países, uma vez que, a exemplo do que ocorre com a produção de açúcar, poucos países podem ser realmente competitivos⁸. Os autores mencionam que a abordagem a ser seguida pela Comissão Europeia deve balancear os interesses dos produtores locais com o dos parceiros comerciais. No caso do fomento à produção em outros países, menciona-se que seria inaceitável a União Europeia expandir o uso de biocombustíveis induzindo impactos ambientais e sociais negativos nos países em desenvolvimento. Tal argumento justificaria a necessidade de certificação da produção, aspecto que será analisado mais à frente.

6 O regime tarifário MFN (Most Favourable Nations), ao contrário do que poderia se supor, não confere vantagens particulares no comércio internacional. Todos os países membros da Organização Mundial do Comércio conferem regime MFN uns aos outros. Ter status MFN significa que uma dada nação não receberá tratamento discriminatório de outra nação, e a ela serão impostas as mesmas regras impostas às demais, exceto os países que têm tratamento especial assegurado por acordos firmados entre as partes interessadas. Segundo Hoekman et al. (2001), picos tarifários são impostos no âmbito do regime tarifário MFN a produtos considerados sensíveis para algumas nações, como produtos agrícolas, no caso da União Europeia e os Estados Unidos.

7 O argumento é que a produção de biodiesel na Europa é competitiva com a produção em outros países. Caso não haja espaço para a produção de etanol, os agricultores europeus se concentrariam na produção de oleaginosas, reduzindo em muito as chances de exportação de países que têm potencial de produção de óleos vegetais, mas não de etanol.

8 O argumento é que, em ambiente de livre comércio, a produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar – a rota mais barata de produção – teria o mesmo nível de concentração que é observado na produção de açúcar, inibindo o desenvolvimento da produção em países menos desenvolvidos.

6.5.4. Outros fatores de risco

Existem outros aspectos que impõem ou tendem a impor barreiras ao comércio internacional de bioetanol e, portanto, são fatores de risco. O primeiro ponto a ser destacado é a ausência de codificações apropriadas para os biocombustíveis no Sistema Internacional Harmonizado (SH) (UNCTAD, 2006). O SH é um sistema de nomenclatura de quadros tarifários, dividido por tipo de produtos e estruturado em vários níveis. Cada país é responsável por apresentar, via SH, as tarifas empregadas à importação de produtos estrangeiros. Cada categoria de produto tem um código definido por uma numeração, que cresce à medida que ocorre a especificação do produto. Na ausência de um código específico para o bioetanol combustível, e por força dos vários usos potenciais desse produto (como combustível, matéria-prima na indústria e na produção de bebidas), há, por um lado, pouca precisão quanto aos dados estatísticos relativos ao comércio internacional de etanol. Por outro lado, e pior, há margem para que os países imponham diferentes tarifas para produtos semelhantes (etanol denaturado e não denaturado de teor alcoólico acima de 80%⁹), resultando tratamentos discriminatórios, embora legais.

Outro aspecto extremamente importante diz respeito à divergência de especificações técnicas relativas ao bioetanol combustível. Existem iniciativas visando uma especificação única, e o Brasil tem participado dessas negociações, o que facilitará sua comercialização enquanto *commodity*. Entretanto, por enquanto, diferentes países têm especificações distintas, aspecto que pode ser usado como barreira não comercial (WALTER et al., 2007).

As questões associadas à certificação da produção de biocombustíveis são mais complexas e estão, ainda, em estágio inicial de discussão. Por um lado, a sinalização de que a certificação da produção será exigida vem, por enquanto, apenas de alguns países europeus (principalmente Alemanha, Holanda, Reino Unido e França). Como anteriormente mencionado, na União Européia existe uma posição relativamente consolidada de que seria inaceitável promover o aumento do consumo de biocombustíveis com indução de impactos sociais e ambientais negativos nos países em desenvolvimento. Por outro lado, a certificação de biomassa sólida (*chips* de madeira e de *pellets*) já é exigida pelos compradores europeus. Ademais, há percepção relativamente generalizada na União Européia de que há riscos significativos de que a produção de biocombustíveis ocorra, em países como o Brasil, com a indução de danos a ecossistemas frágeis, desmatamento (direta ou indiretamente induzido), concen-

9 Ao álcool denaturado é adicionado solvente, que é de difícil remoção (i.e., a remoção é cara). A adição de solvente tem como objetivo fazê-lo não potável (ROSILLO-CALLE e WALTER, 2006). Tanto o bioetanol denaturado como o não denaturado podem ser utilizados como combustível. O consumo que tem crescido é o de bioetanol não denaturado, tendo seu comércio exterior representado 80% de todo o volume transacionado em 2005 (no total, cerca de 6 Gt) (FO LICHT, 2006). O regime tarifário MFN imposto pela União Européia às importações de bioetanol define tarifas de 192 Euro/m³ de bioetanol não denaturado e de 102 Euro/m³ de bioetanol denaturado (UNCTAD, 2006).



tração de renda e exploração de mão de obra infantil. Alguns casos que são frequentemente vinculados pela imprensa europeia, mesmo que esporádicos, são suficientes para disseminar tal percepção.

A tendência é que a União Europeia defina procedimentos únicos de certificação para qualquer biomassa, tendo por base critérios mínimos que deverão evoluir ao longo dos anos. Nas discussões fora das esferas governamentais diz-se que tais procedimentos e critérios terão de ser necessariamente discutidos entre todos os atores interessados, de forma a legitimá-los e para que não sejam vistos como novas barreiras não comerciais. Os aspectos mais mencionados como focos de preocupações são: (i) assegurar que a expansão da produção de biocombustíveis ocorra sem destruição de ecossistemas frágeis e sem induzir desmatamento, (ii) que a produção de biocombustíveis não resulte pressões sobre a produção e os preços de alimentos, (iii) que o balanço de energia associado à produção seja favorável, implicando significativa redução de emissões de GEE, (iv) que a produção agrícola não ocorra com excessivo consumo de fertilizantes e agro-químicos, (v) que a produção de biocombustíveis não implique pressão sobre os recursos hídricos, (vi) que a produção de biocombustíveis induza benefícios sociais e econômicos aos segmentos sociais envolvidos, e (vii) que os direitos fundamentais do ser humano e do trabalhador sejam preservados (HUNT, 2006).

Esse fator de risco tem um agravante que diz respeito à percepção de certos atores sociais, que não acreditam que os sistemas de certificação sejam efetivos e/ou duvidam que legislações locais sejam realmente cumpridas. Nesse sentido, mais do que se preocupar em cumprir critérios de certificação, o Brasil deveria se preocupar em ter boa imagem enquanto produtor de biocombustíveis, assegurando que essa atividade seja inquestionavelmente reconhecida como sustentável. É provável que a posição oposta, e que procura se firmar em princípios de autonomia (no país existem leis, e o cumprimento dessas leis é um problema exclusivo do Brasil), seja absolutamente ineficaz no contexto de crescentes preocupações quanto à sustentabilidade.

6.5.5. O papel das negociações

Vários dos fatores de risco anteriormente mencionados podem ser minimizados mediante de negociações internacionais. O Brasil tem reivindicado e participado de negociações que visam à redução de barreiras tarifárias, a definição de especificações para o bioetanol combustível e a criação de condições para que tal produto seja aceito e tratado como *commodity* no mercado internacional. Da mesma forma, o Brasil, no contexto do Mercosul, tem tentado flexibilizar a posição da União Europeia em relação às barreiras impostas à importação de bioetanol combustível.

Como a questão política associada é complexa e há vários fatores condicionantes, a rápida redução ou mesmo a eliminação das barreiras tarifárias não deve ser verificada em curto prazo, mas avanços podem ser observados. Em essência, o Brasil precisa exercer seu papel de liderança na produção de biocombustíveis, e atuar nas negociações com priorização de seus interesses de longo prazo. As condições de produção de bioetanol são extremamente favoráveis no Brasil (o clima, a disponibilidade de terra, o domínio da tecnologia, o balanço energético favorável, os benefícios quanto às emissões evitadas de GEE), e essas vantagens precisam ser bem utilizadas. O caminho das negociações é sempre longo e o Brasil terá de ceder em alguns pontos para que tenha vantagens em outros.

6.5.6. Aspectos complementares

Uma alternativa, ou mesmo ação complementar à produção em larga escala de bioetanol combustível voltado à exportação, é o fornecimento de tecnologia de produção e de *know-how*. A ampliação do número de países fornecedores parece ser condição necessária à expansão do mercado internacional de etanol, ao menos porque haveria redução dos riscos de suprimento.

A chegada de investidores estrangeiros para a produção de bioetanol no Brasil tem sido observada nos últimos anos. Por um lado, evidentemente que há aspectos positivos, uma vez que há aumento do número de investidores. Por outro lado, há necessidade de clara regulamentação, para que os riscos de abastecimento sejam minimizados e a sustentabilidade da produção seja assegurada. A indústria de bens de capital também tem manifestado preocupação de que os investimentos feitos por estrangeiros ocorram com prioridade aos fornecedores estrangeiros.



Referências Bibliográficas

- BERG, C. The Year When Everything Went Right. Presentation at FO Licht World Ethanol 2005. Amsterdam; 2005.
- BP. Statistical Review of World Energy; 2006. Disponível em <http://www.bp.com/statisticalreview>
- EBIO – European Biofuel Association. Bioethanol fuel in numbers; 2006. Available at www.ebio.org
- ESMAP. Energy Sector Management Assistance Programme. Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries. Washington: The World Bank Group; 2005.
- FAO. Food Outlook – Global Market Analysis 2006; 1.
- FO Licht. World Ethanol & Biofuels Report 2006; vários números.
- FÖRSTER, E., SCHOLZ, V., FAALJ, A. Europe – a new market for biofuel exports or vibrant competitor? *Entwicklung & Ländlicher Raum* 2006, 6: 16-8.
- GIELEN, D, UNANDER, F. 2005. Alternative Fuels – an Energy Technology Perspective. IEA/ETO Working Paper. Paris.
- HAMELINCK, CN, VAN HOOIJDONK, G, FAALJ, APC. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy* 2005; 28: 384–410.
- HAZELL, P, PACHAURI, RK. Bioenergy and agriculture: promises and challenges – Overview. *Focus* 2006; 14. December. International Food Policy Research Institute – IFPRI. Available at <http://www.ifpri.org/pubs/catalog.htm#focus>
- HOEKMAN, B, NG, F, OLARREAGA, M. Eliminating Excessive Tariffs on Exports of Least Developed Countries. Policy Research Working Paper 2604. The World Bank: Washington; 2001.
- HUNT, S. Potential challenges and risks of bio-energy production for developing countries. *Renewable Energy World* 2006, July. Disponível em www.renewable-energyworld.com.
- IEA – International Energy Agency. Biofuels for Transport – an International Perspective. IEA: Paris; 2004.
- IEA – International Energy Agency. Energy to 2050 – Scenarios for a Sustainable Future. Paris; 2003.
- IEA – International Energy Agency. Medium Term Oil Market Report. Paris; 2006a. Disponível em <http://www.iea.org>

- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA - Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia – DCAA, 2007.
- RFA – Renewable Fuels Association. From Niche to Nation – Ethanol Industry Outlook 2006. RFA; 2006.
- ROMM, J. The car and fuel of the future. *Energy Policy* 2006; 34: 2609-14.
- ROSILLO-CALLE, F., WALTER, A. Global market for bioethanol: historical trends and future prospects. *Energy for Sustainable Development* 2006; X(1): 18-30.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. The Emerging Biofuels Market: regulatory, trade and development implications. Geneva; 2006.
- UNITED NATIONS FOUNDATION. The United Nations Biofuels Initiative. United Nations; 2006.
Disponível em www.unfoundation.org
- WALTER, A., ROSILLO-CALLE, F., DOLZAN, P.B., PIACENTE, E., CUNHA, K.B. Market Evaluation: Fuel Ethanol. Relatório do Task 40: Task 40 Sustainable Bio-energy Trade; securing Supply and Demand. Disponível em www.bioenergytrade.org; 2007.

The background features a dense field of corn plants. A semi-transparent green overlay covers the entire image. Overlaid on this is a network diagram consisting of several circular nodes connected by thin lines, suggesting a complex system or process. The text is positioned on the right side of the image, within the green overlay.

Avaliação dos impactos
socioeconômicos relacionados
à produção em larga escala de
bioetanol no Brasil



7. Avaliação dos impactos socioeconômicos relacionados à produção em larga escala de bioetanol no Brasil

Os impactos socioeconômicos relacionados à produção de bioetanol em larga escala no Brasil, capaz de substituir 10% do consumo equivalente de gasolina no mundo projetado para 2025, foi realizado avaliando-se os impactos não somente nos setores diretamente envolvidos (produção de bioetanol e cana-de-açúcar), mas considerando-se os efeitos em toda a cadeia produtiva da economia (efeitos diretos, indiretos e induzidos).

Para poder proceder à análise, foi desenvolvido um modelo de insumo-produto inter-regional, permitindo simular ganhos de produtividade na fase agrícola, bem como combinar diferentes tecnologias na produção de bioetanol para quantificar os impactos dos avanços da tecnologia de segunda geração.

Considerando-se o cenário de exportar 205 bilhões de litros de bioetanol em 2025 (10% do consumo global de gasolina nesse ano), na hipótese de aumento de 20,8% da produtividade industrial de bioetanol por tonelada de cana-de-açúcar, e 37,9% da produtividade agrícola (chamada de cenário com “Tecnologia Progressiva” no Capítulo 5), os impactos sobre a economia nacional, computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos, seriam:

- Aumento do PIB em R\$ 374,6 bilhões (19,3% do PIB de 2005);
- Geração de 9,6 milhões de empregos (2,5 milhões devido aos efeitos diretos e indiretos);
- Geração de mais 1,0 milhão de empregos, ao longo de 20 anos, devido aos investimentos necessários, estimados em R\$ 402,0 bilhões (R\$ 20,1 bilhões ao ano na média, durante 20 anos);
- Aumento da renda *per capita* em 28,2% no Centro-Oeste e 17,3% no Nordeste;
- Oferta de um excedente líquido de energia elétrica de 106,0 TWh (28,3% de todo o consumo de eletricidade no Brasil em 2005).

A partir das relações estatísticas aproximadas entre renda *per capita* e IDH para as cinco macrorregiões do país, pode-se estimar os impactos regionais nesse índice no cenário de exportação de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano em 2025. Todos os estados brasileiros teriam aumento no IDH; em um ce-

nário com avanços tecnológicos nos setores agrícola e industrial, o IDH do Brasil passaria de 0,792 (referente a 2004) para 0,811, sendo os estados da Região Centro-Oeste os que apresentariam os maiores aumentos.

Em um cluster de 15 destilarias, que produziriam 2,55 bilhões de litros ao ano e ocupariam uma área plantada com cana-de-açúcar de 420.000 hectares, seriam gerados 74.700 empregos (computando-se os efeitos diretos, indiretos e induzidos), que proporcionariam uma renda por trabalhador 54,6% superior à média nacional de 2002.

7.1. Introdução

A quantificação de indicadores socioeconômicos – como renda e emprego – exige que as alternativas para aproveitamento energético da biomassa sejam analisadas em um contexto mais amplo na economia. Toda a cadeia produtiva, desde a extração da biomassa até o uso final dos produtos energéticos, tem de ser representada.

Muitos trabalhos técnico-econômicos em energia consideram apenas as receitas e custos como percebidos pelos agentes privados. Entretanto, é importante se considerar as externalidades econômicas e ambientais presentes na avaliação de empreendimentos em energia. Afinal, a energia é um bem essencial para toda a sociedade, sendo importante componente de indicadores de desenvolvimento.

A intensidade dos impactos socioeconômicos pode variar grandemente dependendo do tipo de empreendimento. A instalação de uma destilaria em uma determinada região traz impactos diretos, indiretos e induzidos sobre diversos setores da economia, e em regiões que extrapolam aquela onde originalmente foi instalada a destilaria. Localmente, haverá um aumento na atividade econômica em muitos setores, como o de serviços – comércio, educação, saúde, entre outros –, atraindo famílias para região. Mais renda e emprego serão gerados em toda parte e o país ao todo se beneficiará.

A quantificação dos impactos socioeconômicos diretos, indiretos e induzidos requer o emprego de uma metodologia capaz de representar toda a cadeia produtiva da economia. Os efeitos podem ser avaliados em diferentes métricas: nível de produção setorial, empregos, valor adicionado (PIB), oferta excedente de eletricidade, entre outras. O método comumente usado na prática para tal é o modelo de insumo-produto. Formulado por Wassily W. Leontief (1906–1999) na década de 1930, o modelo de insumo-produto descreve a relação do fluxo circular da renda entre os setores produ-
ti-



vos da economia e vem sendo largamente usado em todo o mundo, desde sua concepção, nos mais diversos estudos sobre economia aplicada.

Este capítulo tem como objetivo aplicar um modelo estendido de insumo-produto como sugerido por CUNHA (2005), para produzir indicadores socioeconômicos para a energia da biomassa de cana-de-açúcar no cenário considerado no estudo.

7.2. O modelo básico de insumo-produto

O modelo básico de insumo-produto pode ser disposto em forma matricial, como mostrado na Figura 7-1. Os setores produtivos (eventualmente chamados de indústrias ou atividades), dispostos como colunas no bloco “setores de destino”, dependem em produtos dos outros setores da economia (consumo intermediário, matriz Z) e em bens e serviços importados (M), pagam impostos indiretos líquidos (T) e remuneram os fatores primários de produção trabalho e serviços de capital (valor adicionado a preço básico, W)¹.

As receitas dos setores ocorrem ao longo das linhas do bloco “setores de origem”; cada indústria recebe dos outros setores pelo fornecimento de insumos (consumo intermediário, matriz Z), como também dos bens e serviços entregues à demanda final (Y), que tem, como componentes principais, o consumo das famílias, os gastos do governo, os investimentos e as exportações. Em equilíbrio, a economia tem de ter as despesas (soma ao longo das colunas do bloco “setores de destino”) iguais às respectivas receitas (soma através das linhas do bloco “setores de origem”); essas somas são identificadas pelo vetor X (produção total ou valor da produção). O PIB pode ser calculado pelo valor adicionado, dado pela soma das componentes T e W.

As equações do modelo básico de insumo-produto podem ser obtidas pelas linhas do bloco “setores de origem”, como mostrado na Figura 7-1:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + C_i + G_i + I_i + E_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7.1)$$

sendo

z_{ij} : valor despendido pelo setor j na compra do insumo-produzido pelo setor i;

¹ O valor adicionado a preço básico inclui os impostos diretos (sobre a produção).

C_i : valor do produto do setor i consumido pelas famílias;

G_i : gastos do governo no produto do setor i ;

I_i : valor do produto do setor i destinado ao investimento (formação bruta de capital fixo);

E_i : valor do produto do setor i que é exportado; e

X_i : valor total das receitas do setor i .

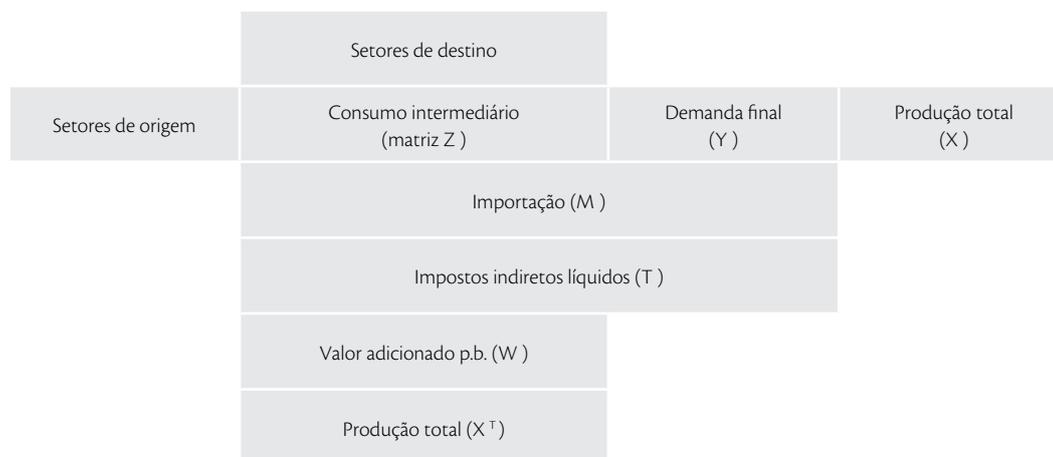


Figura 7-1: O modelo de insumo-produto

A demanda final doméstica do setor i é dada pela soma do consumo das famílias, gastos do governo e investimentos:

$$C_i + G_i + I_i$$

A demanda final pelo produto do i -ésimo setor é obtida acrescentando-se o valor das exportações:

$$Y_i = C_i + G_i + I_i + E_i \tag{7.2}$$



A equação 7.3 define o coeficiente técnico direto de produção, a_{ij} , que é a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto total do setor j , onde X_j é a produção total do setor j :

$$a_{ij} = \frac{Z_{ij}}{X_j} \quad (7.3)$$

Como o modelo de insumo-produto supõe retornos constantes à escala, isto é, as funções de produção são lineares e homogêneas de grau 1, os elementos a_{ij} que formam a matriz de coeficientes técnicos A não dependem do valor da produção X_j .

O destino da produção de um setor i qualquer é dado pelo consumo intermediário somado à demanda final. Combinando-se as equações 7.1, 7.2 e 7.3 resulta:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7.4)$$

Em forma matricial, a equação 7.4 torna-se

$$AX + Y = X \quad (7.5)$$

em que X e Y são vetores coluna de ordem $n \times 1$ e $A = [a_{ij}]$ ($n \times n$) é a matriz dos coeficientes técnicos diretos.

Resolvendo-se a equação matricial 7.5, obtém-se

$$X = (I - A)^{-1} Y = BY \quad (7.6)$$

onde $B = (I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, conhecida como matriz inversa de Leontief.

A partir da equação 7.6, pode-se obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final (Y), formada exogenamente. Pode-se, também, avaliar o impacto sobre a produção de todos os setores, decorrentes de um choque (diminuição ou aumento) na demanda final (MILLER e BLAIR, 1985).

Como exemplo didático, considere-se a matriz de insumo-produto estimada para o Brasil no ano de 2002², agregada em três setores: agropecuária, indústria e serviços (Tabela 7.2-1). A área sombreada na tabela corresponde ao chamado consumo intermediário (consumo entre os setores produtivos).

Tabela 7.2-1: Economia brasileira agregada em três setores, em 2002

| Brasil 2002 (R\$ bilhão) | Agro- pecuária | Indústria | Serviços | Demanda final (Y) | Demanda total (X) |
|-----------------------------|-------------------|-----------|----------|----------------------|----------------------|
| Agropecuária | 29,71 | 90,34 | 6,19 | 68,56 | 194,80 |
| Indústria | 37,89 | 477,83 | 148,05 | 578,79 | 1.242,55 |
| Serviços | 13,33 | 102,31 | 246,47 | 743,81 | 1.105,91 |
| Importação | 4,16 | 86,12 | 34,71 | 55,57 | |
| Impostos indiretos | 4,81 | 26,65 | 35,57 | 79,86 | |
| Trabalho | 12,09 | 108,49 | 427,50 | | |
| Capital | 93,01 | 292,36 | 178,95 | | |
| Impostos diretos | - 0,19 | 58,47 | 28,48 | | |
| Produção (X ^T) | 194,80 | 1.242,55 | 1.105,91 | | |
| Empregos [mil] | 12.508,4 | 13.097,7 | 40.767,1 | | |

Aplicando-se a equação 7.3, a seguinte matriz de coeficientes técnicos diretos (A) é obtida (Tabela 7.2-2).

Tabela 7.2-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A

| A | Agropecuária | Indústria | Serviços |
|--------------|--------------|-----------|----------|
| Agropecuária | 0,153 | 0,073 | 0,006 |
| Indústria | 0,194 | 0,385 | 0,134 |
| Serviços | 0,068 | 0,082 | 0,223 |

Assim, por exemplo, ao produzir R\$ 1 bilhão, o setor de agropecuária terá que despender R\$ 0,153 bilhão, R\$ 0,194 bilhão e R\$ 0,068 bilhão em insumos dos setores de agropecuária, indústria e servi-

² A estimação da matriz de insumo produto é explicada no item "Base de dados" (item 6.4).



ços, respectivamente. O efeito direto decorrente de um aumento da demanda final pelo produto do setor de agropecuária em R\$ 1 bilhão é dado pela soma de R\$ 1 bilhão (efeito direto inicial), R\$ 0,153 bilhão, R\$ 0,194 bilhão e R\$ 0,068 bilhão, sendo igual a R\$ 1,415 bilhão.

A matriz inversa de Leontief, $B = (I - A)^{-1}$, é mostrada na Tabela 7.2-3.

Tabela 7.2-3: A matriz inversa de Leontief

| $(I - A)^{-1}$ | Agropecuária | Indústria | Serviços |
|----------------|--------------|-----------|----------|
| Agropecuária | 1,217 | 0,148 | 0,034 |
| Indústria | 0,417 | 1,714 | 0,298 |
| Serviços | 0,151 | 0,195 | 1,321 |

A equação 7.6 permite obter os efeitos diretos e indiretos sobre os níveis de produção dos setores produtivos da economia se qualquer uma das componentes da demanda final – exportações, gastos do governo, consumo das famílias ou investimento – mudar.

Por exemplo, suponha-se que as exportações do setor de agropecuária aumentem em R\$ 1 bilhão. Na terminologia da análise de insumo-produto, diz-se que foi aplicado um choque de R\$ 1 bilhão ao setor de agropecuária. Então, os valores da produção de todos os setores aumentam como calculado pela equação 7.6:

$$\begin{bmatrix} 1,341 & 0,265 & 0,200 & 0,242 \\ 1,076 & 2,331 & 1,178 & 1,285 \\ 0,936 & 0,929 & 2,370 & 1,531 \\ 1,046 & 0,980 & 1,399 & 2,042 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,341 \\ 1,076 \\ 0,936 \\ 1,046 \end{bmatrix}$$

Portanto, para atender a um crescimento de R\$ 1 bilhão na demanda final pelo produto do setor de agropecuária, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar R\$ 1,217 bilhão, R\$ 0,417 bilhão e R\$ 0,151 bilhão, respectivamente, somando R\$ 1,785 bilhão. Assim, ao todo, a economia terá de produzir R\$ 1,785 bilhão, que são os efeitos diretos e indiretos, juntos, resultantes de um choque de R\$ 1 bilhão na demanda final por produtos do setor agropecuária. Como calculado acima, o efeito direto é de R\$ 1,415 bilhão. Consequentemente, o efeito indireto é de R\$ 0,370 bilhão nesse caso.

A razão entre R\$ 1,785 bilhão (efeito) e R\$ 1 bilhão (causa), igual a 1,785, é chamada multiplicador de produção, correspondente ao setor de agropecuária. Os multiplicadores que captam os efeitos diretos e indiretos envolvidos na cadeia produtiva são chamados multiplicadores tipo I. Analogamente, os multiplicadores de produção dos setores indústria e serviços são 2,057 e 1,653, respectivamente. Pode-se notar que os multiplicadores de produção são obtidos pela soma das linhas da matriz inversa de Leontief, B.

É possível, também, avaliar o chamado efeito induzido (ou efeito renda), que corresponde ao acréscimo no nível de produção dos setores, devido ao aumento no consumo das famílias propiciado pelo ganho de renda resultante da remuneração dos fatores trabalho e capital.

Como visto acima, se as exportações do produto da agropecuária aumentarem em R\$ 1 bilhão, os efeitos diretos e indiretos sobre os níveis de produção dos setores agropecuária, indústria e serviços são, respectivamente, R\$ 1,217 bilhão, R\$ 0,417 bilhão e R\$ 0,151 bilhão. Quando acionados, esses setores irão remunerar os fatores primários trabalho e serviços de capital, que constituem a renda das famílias (trabalhadores e capitalistas). As famílias, então, alocam a renda proveniente dessa remuneração no consumo dos bens e serviços produzidos pela economia, o que leva a um aumento imediato no nível de produção de todos os seus setores. O ciclo, então, se repete indefinidamente até que as perturbações resultantes se tornem desprezíveis. Agregando-se as sucessivas alterações no nível de produção de cada um dos setores, chega-se ao chamado efeito induzido ou efeito renda.

Suponha-se, novamente, que as exportações do produto da agropecuária aumentam em R\$ 1 bilhão. Para se calcular matematicamente o efeito induzido, é necessário tornar as famílias endógenas ao modelo de insumo-produto. As famílias passam a ser tratadas como um setor adicional na economia. Seus gastos serão dados pelo vetor de consumo que consta da demanda final. Suas receitas são calculadas subtraindo-se parte dos pagamentos pelos serviços de capital (resto do capital) da remuneração dos fatores de produção. Os dispêndios são menores que os ganhos na Tabela 7.2-4, pois as famílias poupam um percentual – 5% no exemplo dado – de suas receitas.

Deve-se notar que as linhas “trabalho” e “capital”, na Tabela 7.2-1, e “famílias” e “resto do capital”, na Tabela 7.2-4, têm soma igual. A linha “resto do capital” da Tabela 7.2-4 é a parcela do valor adicionado que não é distribuída às famílias, podendo ser interpretada como investimentos e custos de depreciação.

Repetindo-se os mesmos passos vistos anteriormente para o cálculo dos multiplicadores do tipo I, pode-se obter a matriz inversa de Leontief correspondente à Tabela 7.2-4, levando à Tabela 7.2-5.



Tabela 7.2-4: Tabela de transações com as famílias como setor, para o Brasil, em 2002

| Brasil 2002 (R\$ bilhão) | Agro- pecuária | Indústria | Serviços | Famílias | Resto da demanda final | Demanda total (X) |
|-----------------------------|-------------------|-----------|----------|----------|------------------------------|----------------------|
| Agropecuária | 29,71 | 90,34 | 6,19 | 41,60 | 26,97 | 194,80 |
| Indústria | 37,89 | 477,83 | 148,05 | 216,92 | 361,87 | 1.242,55 |
| Serviços | 13,33 | 102,31 | 246,47 | 429,65 | 314,16 | 1.105,91 |
| Famílias | 57,28 | 250,55 | 514,46 | | | |
| Importação | 4,16 | 86,12 | 34,71 | 28,07 | 27,49 | |
| Impostos indiretos | 4,81 | 26,65 | 35,57 | 64,94 | 14,92 | |
| Resto do capital | 47,82 | 150,30 | 92,00 | | | |
| Impostos diretos | - 0,19 | 58,47 | 28,48 | | | |
| Produção (X ^T) | 194,80 | 1.242,55 | 1.105,91 | 781,17 | | |
| Empregos [mil] | 12.508,4 | 13.097,7 | 40.767,1 | | | |

Tabela 7.2-5: A matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores tipo II

| (I - A) ⁻¹ | Agro- pecuária | Indústria | Serviços | Famílias |
|-----------------------|-------------------|-----------|----------|----------|
| Agropecuária | 1,341 | 0,265 | 0,200 | 0,242 |
| Indústria | 1,076 | 2,331 | 1,178 | 1,285 |
| Serviços | 0,936 | 0,929 | 2,370 | 1,531 |
| Famílias | 1,046 | 0,980 | 1,399 | 2,042 |

A equação 7.6 torna-se, agora,

$$\begin{bmatrix} 1,341 & 0,265 & 0,200 & 0,242 \\ 1,076 & 2,331 & 1,178 & 1,285 \\ 0,936 & 0,929 & 2,370 & 1,531 \\ 1,046 & 0,980 & 1,399 & 2,042 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,341 \\ 1,076 \\ 0,936 \\ 1,046 \end{bmatrix}$$

O resultado acima mostra que, para atender a um aumento de R\$ 1 bilhão do produto da agropecuária, no resto da demanda final – exportações, gastos do governo ou investimento –, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar, pela ordem, em R\$ 1,341 bilhão, R\$ 1,076 bilhão e R\$ 0,936 bilhão, somando R\$ 3,353 bilhões. O quociente entre R\$ 3,353 bilhões (efeito) e R\$ 1 bilhão (causa), igual a 3,353, é chamado multiplicador de produção do tipo II, correspondente ao setor de agropecuária, captando os efeitos diretos, indiretos e induzidos decorrentes do choque de R\$ 1 bilhão no setor de agropecuária. Como mostrado anteriormente, os efeitos diretos e indiretos correspondem a R\$ 1,785 bilhão. Então, o efeito induzido, isoladamente, é R\$ 1,568 bilhão, mostrando claramente que não se pode ignorá-lo em análises de impacto. Analogamente, os multiplicadores do tipo II para os setores da indústria e de serviços são, respectivamente, 3,525 e 3,748.

Além dos efeitos sobre o nível de produção setorial, podem ser quantificados, entre outros, os impactos sobre empregos e PIB setorial. Os impactos sobre o pessoal ocupado (empregos) são obtidos multiplicando-se os níveis de produção resultantes de uma dada alteração na demanda final pelos respectivos coeficientes técnicos diretos de empregos, calculados de forma semelhante à equação 7.3. Pode-se mostrar, por exemplo, que um aumento de R\$ 1 bilhão nas exportações do produto da agropecuária resulta em um acréscimo de 131.953 postos de trabalho, considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Os impactos sobre o valor adicionado setorial (PIB) são medidos de forma análoga. Basta lembrar que o PIB setorial nada mais é que a soma dos impostos (receitas do governo) com as remunerações dos fatores primários de produção (trabalho e capital). Por exemplo, o valor adicionado para o setor de agropecuária em 2002 foi de R\$ 109,72 bilhões, que é a soma de R\$ 4,81 bilhões, R\$ 12,09 bilhões, R\$ 93,01 bilhões e R\$ – 0,19 bilhão (subsídio) (Tabela 7.2-1). Portanto, o coeficiente técnico direto do PIB para o setor de agropecuária é $109,72/194,80 = 0,563$. Pode-se mostrar que, ao aumentar as exportações do produto do setor agropecuário em R\$ 1 bilhão, o PIB crescerá em R\$ 1,746 bilhão, levando-se em consideração os efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Em resumo, embora de concepção relativamente simples, o modelo de insumo-produto é capaz de capturar os efeitos diretos, indiretos e induzidos, de alterações na demanda final, nem sempre intuitivos, em toda a estrutura produtiva da economia.

A seguir, é descrito o método construído para a análise de impactos socioeconômicos no estudo realizado, que traz avanços significativos em relação ao modelo básico de insumo-produto.



7.3. O modelo estendido de insumo-produto

Os impactos socioeconômicos, relacionados à produção em larga escala de etanol, foram avaliados mediante de um modelo estendido de insumo-produto especialmente construído para atender as características do sistema econômico abordado no trabalho.

Na prática, os setores econômicos produzem diferentes bens e serviços. A indústria sucroalcooleira, por exemplo, produz açúcar, bioetanol e também excedentes de eletricidade. Além disso, é comum que um setor econômico disponha de uma variedade de opções tecnológicas. Assim, a cana-de-açúcar pode ser colhida manualmente ou através de máquinas colhedoras e o bioetanol pode ser produzido em destilarias anexas ou autônomas.

Entretanto, em seu formato básico, o modelo de insumo-produto não considera a possibilidade de produção conjunta nem permite a representação de setores usando diferentes tecnologias na obtenção de um mesmo bem ou serviço. Foi necessário, então, construir um modelo de insumo-produto com produção conjunta e tecnologias mistas, com o construto teórico sugerido por CUNHA (2005), o que permite, entre outras coisas, estudar os efeitos sobre o emprego da mecanização da colheita de cana-de-açúcar, uma questão social importante no Brasil.

Os setores de cana-de-açúcar e bioetanol são representados pela tecnologia linear, que permite combinar os insumos em qualquer proporção. Os setores restantes são caracterizados pela tecnologia Leontief usual. Os níveis das atividades para os setores de tecnologia linear são fixados exogenamente, evitando o uso de ferramentas matemáticas mais complicadas, como modelos computáveis de equilíbrio geral (SCARAMUCCI et al., 2005).

O modelo estendido de insumo-produto é explicado em detalhes, a seguir. Por simplicidade, suponha-se uma economia agregada em oito setores de produção:

- S_1 : cana-de-açúcar colhida manualmente;
- S_2 : cana-de-açúcar colhida mecanicamente;
- S_3 : geração de eletricidade pelo sistema hidrotérmico de potência existente;
- S_4 : geração de excedentes de eletricidade do bagaço de cana-de-açúcar;
- S_5 : cana-de-açúcar (total);
- S_6 : eletricidade (total);
- S_7 : etanol;
- S_8 : resto da economia.

Esses setores são mostrados na matriz de transações disposta na Tabela 7.3-1.

Na Tabela 7.3-1, são identificados, também, os seguintes elementos:

- Y_i : demanda final pelo produto do setor i ;
- X_i : valor da produção do setor i ;
- W_j : agregado de importações, impostos e pagamentos dos fatores de produção (mão-de-obra e serviços de capital) usados no setor j .

Tabela 7.3-1: Tabela de transações para o modelo estendido de insumo-produto

| | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | S_6 | S_7 | S_8 | Y | X |
|-------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|
| S_1 | | | | | x_1 | | | | | x_1 |
| S_2 | | | | | x_2 | | | | | x_2 |
| S_3 | | | | | | X_3 | | | | x_3 |
| S_4 | | | | | | X_4 | | | | x_4 |
| S_5 | a_5x_1 | a_5x_2 | a_5x_3 | a_5x_4 | | | a_5x_7 | a_5x_8 | y_5 | x_5 |
| S_6 | a_6x_1 | a_6x_2 | a_6x_3 | a_6x_4 | | | a_6x_7 | a_6x_8 | y_6 | x_6 |
| S_7 | a_7x_1 | a_7x_2 | a_7x_3 | a_7x_4 | | | a_7x_7 | a_7x_8 | y_7 | x_7 |
| S_8 | a_8x_1 | a_8x_2 | a_8x_3 | a_8x_4 | | | a_8x_7 | a_8x_8 | y_8 | x_8 |
| W | a_wx_1 | a_wx_2 | a_wx_3 | a_wx_4 | | | a_wx_7 | a_wx_8 | y_w | |
| X^T | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | | |

As transações na Tabela 7.3-1 são expressas em termos dos coeficientes técnicos a_{ij} .

Por construção, a cana-de-açúcar e eletricidade fornecidas como insumos aos setores S_1 – S_4 , S_7 e à demanda final, são produzidos, respectivamente, pelos setores S_5 (cana-de-açúcar total) e S_6 (eletricidade total). É importante notar que toda a produção dos setores S_1 (cana-de-açúcar colhida manualmente) e S_2 (cana-de-açúcar colhida mecanicamente) é alocada no consumo intermediário do setor S_5 . Analogamente, para a eletricidade, toda a produção de S_3 e S_4 é usada somente no setor S_6 .

A tecnologia usada nos setores S_5 e S_6 é linear, significando que os insumos necessários podem ser combinados em qualquer proporção. Já os setores restantes são descritos pela tecnologia Leontief usual. É esse o artifício que permite que um mesmo bem – no caso cana-de-açúcar ou eletricidade – possa ser produzido por múltiplos setores com tecnologias distintas.



O modelo estendido de insumo-produto pode incluir, também, a possibilidade de produção conjunta. Nesse caso, supõe-se que a produção de eletricidade a partir do bagaço é uma fração do valor da produção do setor de bioetanol (S_7). O parâmetro referente à relação de proporcionalidade entre os valores da produção dos setores S_3 e S_7 pode ser alterado, permitindo, assim, simular a penetração da eletricidade excedente gerada pelo setor de etanol.

As relações econômicas representadas na Tabela 7.3-1 podem ser formuladas matematicamente, como mostrado abaixo.

A tecnologia usada no setor cana-de-açúcar total (S_5) é linear; então:

$$X_1 = \delta_{15} X_5 \quad (7.7)$$

$$X_2 = \delta_{25} X_5 \quad (7.8)$$

$$\delta_{15} + \delta_{25} = 1, 0 \leq \delta_{15}, \delta_{25} \leq 1$$

Segue-se que

$$X_1 + X_2 = (\delta_{15} + \delta_{25}) X_5 = X_5$$

significando que o setor S_5 depende todo o valor da produção com a cana-de-açúcar produzida pelos setores S_1 e S_2 (condição associada à coluna de S_5 na Tabela 7.3-1).

Assim, o produto do setor S_5 pode ser obtido combinando-se os insumos de S_1 e S_2 em qualquer proporção, dada por δ_{15} e δ_{25} . Os parâmetros de composição setorial δ_{15} e δ_{25} são fixados exogenamente na construção dos cenários considerados. Por exemplo, se toda cana-de-açúcar é colhida mecanicamente, então $\delta_{15} = 0$ e $\delta_{25} = 1$. Obviamente, para os setores consumindo cana-de-açúcar, não importa qual tecnologia (S_1 ou S_2) foi empregada em sua produção.

Analogamente, para o setor de eletricidade total (S_6), tem-se:

$$X_3 + X_4 = X_6 \quad (7.9)$$

Porém, a composição setorial de S_6 não pode ser dada exogenamente, pois a geração de eletricidade de bagaço depende da produção de etanol:

$$X_4 = \delta_{47} X_7 \quad (7.10)$$

O modelo básico de insumo-produto se aplica às linhas correspondentes aos setores S_5 , S_6 , S_7 e S_8 na tabela de transações:

$$\begin{cases} a_{51} X_1 + a_{52} X_2 + a_{53} X_3 + a_{54} X_4 + a_{57} X_7 + a_{58} X_8 + Y_5 = X_5 \\ a_{61} X_1 + a_{62} X_2 + a_{63} X_3 + a_{64} X_4 + a_{67} X_7 + a_{68} X_8 + Y_6 = X_6 \\ a_{71} X_1 + a_{72} X_2 + a_{73} X_3 + a_{74} X_4 + a_{77} X_7 + a_{78} X_8 + Y_7 = X_7 \\ a_{81} X_1 + a_{82} X_2 + a_{83} X_3 + a_{84} X_4 + a_{87} X_7 + a_{88} X_8 + Y_8 = X_8 \end{cases} \quad (7.11)$$

Substituindo-se as equações (7.7), (7.8), (7.9) e (7.10) em (7.11) vem

$$\begin{cases} (a_{51} \delta_{15} + a_{52} \delta_{25}) X_5 + a_{53} X_6 + (-a_{53} \delta_{47} + a_{54} \delta_{47} + a_{57}) X_7 + a_{58} X_8 + Y_5 = X_5 \\ (a_{61} \delta_{15} + a_{62} \delta_{25}) X_5 + a_{63} X_6 + (-a_{63} \delta_{47} + a_{64} \delta_{47} + a_{67}) X_7 + a_{68} X_8 + Y_6 = X_6 \\ (a_{71} \delta_{15} + a_{72} \delta_{25}) X_5 + a_{73} X_6 + (-a_{73} \delta_{47} + a_{74} \delta_{47} + a_{77}) X_7 + a_{78} X_8 + Y_7 = X_7 \\ (a_{81} \delta_{15} + a_{82} \delta_{25}) X_5 + a_{83} X_6 + (-a_{83} \delta_{47} + a_{84} \delta_{47} + a_{87}) X_7 + a_{88} X_8 + Y_8 = X_8 \end{cases} \quad (7.12)$$

O sistema (7.12) é semelhante ao sistema (7.4), tendo, como variáveis exógenas, Y_5 , Y_6 , Y_7 e Y_8 , sendo endógenas X_5 , X_6 , X_7 e X_8 . Os parâmetros δ_{15} e δ_{25} servem para determinar diretamente a composição setorial de S_5 . Já a formação do parâmetro δ_{47} é um pouco mais complexa. Seu valor depende do percentual das destilarias de bioetanol que geram excedentes de eletricidade. Mas δ_{47} deriva também do rendimento de eletricidade excedente por unidade de cana-de-açúcar moída na produção de etanol.

Em forma matricial, (7.12) torna-se

$$\bar{A} X + \bar{Y} = \bar{X}$$

onde

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} (a_{51} \delta_{15} + a_{52} \delta_{25}) & a_{53} & (-a_{53} \delta_{47} + a_{54} \delta_{47} + a_{57}) & a_{58} \\ (a_{61} \delta_{15} + a_{62} \delta_{25}) & a_{63} & (-a_{63} \delta_{47} + a_{64} \delta_{47} + a_{67}) & a_{68} \\ (a_{71} \delta_{15} + a_{72} \delta_{25}) & a_{73} & (-a_{73} \delta_{47} + a_{74} \delta_{47} + a_{77}) & a_{78} \\ (a_{81} \delta_{15} + a_{82} \delta_{25}) & a_{83} & (-a_{83} \delta_{47} + a_{84} \delta_{47} + a_{87}) & a_{88} \end{bmatrix}$$



$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \end{bmatrix}$$

Portanto, os valores da produção dos setores S_5, S_6, S_7 e S_8 são dados por

$$\bar{X} = (I - \bar{A})^{-1} \bar{Y} \quad (7.13)$$

A matriz de coeficientes técnicos para o modelo estendido de insumo-produto (agregado) correspondente ao ano base de 2002 é dada na Tabela 7.3-2. Ela é derivada da base de dados mostrada no Apêndice D.

Deve-se notar que $a_{15} = X_1 / X_5 = \delta_{15}$ e $a_{25} = X_2 / X_5 = \delta_{25}$, de (7.7) e (7.8), respectivamente. Também

$$a_{36} = 1 - \frac{\delta_{47} X_7}{X_6}$$

$$a_{46} = \frac{\delta_{47} X_7}{X_6}$$

de (7.9) e (7.10). Assim, os coeficientes técnicos a_{36} e a_{46} são endógenos.

Na Tabela 7.3-2, M representa importações, VA é o valor adicionado e PO é o pessoal ocupado (número de empregos formais e informais, cuja unidade é 1/R\$ 1.000).

A Tabela 7.3-3 mostra a matriz \bar{A} para o caso base, caracterizado por $\delta_{15} = 73\%$ (colheita manual), $\delta_{25} = 27\%$ (colheita mecânica) e $\delta_{47} = 0$ (significando que a geração de eletricidade excedente por unidade de valor da produção no setor de bioetanol é zero).

Tabela 7.3-2: Matriz de coeficientes tecnológicos do modelo estendido de insumo-produto

| | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ | S ₇ | S ₈ | X |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S ₁ | | | | | a ₁ | | | | x ¹ |
| S ₂ | | | | | a ₂ | | | | x ² |
| S ₃ | | | | | | a ₃ | | | x ³ |
| S ₄ | | | | | | a ₄ | | | x ⁴ |
| S ₅ | 0,0651 | 0,0695 | 0,0000 | 0,0000 | | | 0,4053 | 0,0017 | x ⁵ |
| S ₆ | 0,0000 | 0,0000 | 0,0186 | 0,0000 | | | 0,0000 | 0,0091 | x ⁶ |
| S ₇ | 0,0000 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0000 | | | 0,0000 | 0,0039 | x ⁷ |
| S ₈ | 0,4078 | 0,4999 | 0,2395 | 0,1413 | | | 0,1936 | 0,4099 | x ⁸ |
| M | 0,0261 | 0,0228 | 0,0294 | 0,0000 | | | 0,0038 | 0,0491 | |
| VA | 0,5010 | 0,4078 | 0,7124 | 0,8587 | | | 0,3972 | 0,5264 | |
| PO | 0,0622 | 0,0103 | 0,0018 | 0,0035 | | | 0,0029 | 0,0263 | |
| X ^c | x ¹ | x ² | x ³ | x ⁴ | x ⁵ | x ⁶ | x ⁷ | x ⁸ | |

Tabela 7.3-3: Matriz \tilde{A} para o caso base

| | S ₅ | S ₆ | S ₇ | S ₈ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S ₅ | 0,0663 | 0,0000 | 0,4053 | 0,0017 |
| S ₆ | 0,0000 | 0,0186 | 0,0000 | 0,0091 |
| S ₇ | 0,0000 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0039 |
| S ₈ | 0,4326 | 0,2395 | 0,1936 | 0,4099 |

Mudanças tecnológicas podem ser simuladas alterando-se os parâmetros δ_{15} , δ_{25} e δ_{47} . Por exemplo, para medir os impactos da mecanização na colheita de cana-de-açúcar, basta fixar $\delta_{15} = 0$ e $\delta_{25} = 1$ e comparar o resultado com o caso base. Analogamente, para se introduzir todo o potencial de geração de eletricidade de bagaço no setor de etanol, faz-se $\delta_{47} = 0,0396$ (supondo-se que cada tonelada de cana-de-açúcar processada na obtenção de bioetanol é capaz de produzir 40 kWh de eletricidade excedente).



Aplicando-se um “choque paramétrico” dado por $\delta_{15} = 0\%$ (colheita manual), $\delta_{25} = 100\%$ (colheita mecânica) e $\delta_{47} = 0,0396$, então \tilde{A} torna-se como mostrado na Tabela 7.3-4.

Pode-se observar que somente as colunas S_5 e S_7 se modificam. S_5 corresponde agora à coluna S_2 na Tabela 7.3-2, pois se supõe que toda a cana-de-açúcar é colhida mecanicamente.

Tabela 7.3-4: Matriz \tilde{A} para o caso de colheita mecanizada

| | S_5 | S_6 | S_7 | S_8 |
|-------|--------|--------|---------|--------|
| S_5 | 0,0695 | 0,0000 | 0,4053 | 0,0017 |
| S_6 | 0,0000 | 0,0186 | -0,0007 | 0,0091 |
| S_7 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0039 |
| S_8 | 0,4999 | 0,2395 | 0,1898 | 0,4099 |

Os valores de calibragem para 2002 são exibidos na Tabela 7.3-5.

Tabela 7.3-5: Valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade em 2002

| | S_5 | S_6 | S_7 | S_8 | Total |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| Valor da produção [R\$ bilhão] | 9,41 | 23,10 | 11,50 | 2.499,25 | 2.543,26 |
| Valor adicionado [R\$ bilhão] | 4,48 | 16,46 | 4,57 | 1.315,56 | 1.341,06 |
| Pessoal ocupado [1.000] | 453,00 | 41,40 | 33,07 | 65.845,73 | 66.373,20 |
| Eletricidade [TWh] | 0,00 | 6,03 | 0,00 | 318,33 | 324,37 |

Com a alteração nos coeficientes tecnológicos, mudam, em todos os setores, o valor da produção, o PIB, o pessoal ocupado e o consumo de eletricidade. As variações previstas pelo modelo estendido de insumo-produto são mostradas na Tabela 7.3-6.

Tabela 7.3-6: Variações absolutas do valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade

| | S_5 | S_6 | S_7 | S_8 | Total |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|---------|
| Valor da produção [R\$ bilhão] | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 1,08 | 1,07 |
| Valor adicionado [R\$ bilhão] | -0,62 | 0,07 | 0,00 | 0,54 | -0,01 |
| Pessoal ocupado [1.000] | -355,75 | 0,76 | 0,01 | 27,10 | -327,89 |
| Eletricidade [TWh] | 0,00 | -0,12 | 0,00 | 0,13 | 0,01 |

Os valores da produção resultantes são calculados pela equação (7.13), usando a matriz de coeficientes diretos dada na Tabela 7.3-4, supondo-se que o vetor de demanda final seja o mesmo observado no caso base. As linhas de valor adicionado e pessoal ocupado são obtidas multiplicando-se os respectivos coeficientes técnicos (Tabela 7.3-2) pelos valores da produção correspondentes. Finalmente, o consumo de eletricidade foi determinado pela razão entre seu valor monetário e o preço médio da energia elétrica no ano base.

O setor de cana-de-açúcar (S_5) perde 355.750 empregos (cortadores manuais basicamente), uma queda de 79% (!), mas os setores restantes (S_6 , S_7 e S_8) tem um ganho de 27.870 postos de trabalho. Ao todo, são perdidos 327.890 empregos.

Como se pode perceber, o modelo estendido de insumo-produto pode ser uma ferramenta valiosa para a análise de impactos socioeconômicos de sistemas de produção tecnologicamente diversificados.



7.4. Base de dados

A construção de uma base de dados é frequentemente a tarefa que mais exige cuidado e dedicação na modelagem de insumo-produto. Nas palavras de Leontief (1989) [tradução dos autores]:

Teorizar requer inspiração e conhecimento técnico, enquanto o levantamento de dados – particularmente para a implementação de modelos de grande porte – necessita muito suor e lágrimas e sempre grandes quantias de dinheiro. Deparamo-nos freqüentemente com uma superprodução de modelos e um subinvestimento – intelectual e financeiro – na compilação das bases de dados necessárias à sua implementação. (LEONTIEF, 1989)

A estrutura matemática de um modelo de insumo-produto é razoavelmente simples e sua precisão depende sobremaneira do acerto dos dados usados.

Inicialmente, foi estimada uma matriz de insumo-produto (MIP) para o ano de 2002, contendo 42 setores e 80 produtos, por meio de um método próprio de atualização, usando dados preliminares das contas nacionais fornecidos pelo IBGE. Em seguida, os setores cana-de-açúcar, arroz em casca, etanol, geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade, beneficiamento de arroz, indústria da madeira e gasoálcool (terminologia adotada pelo IBGE para a chamada gasolina C) foram desagregados, baseando-se em informações detalhadas de engenharia obtidas de expertos e publicações especializadas.

A matriz de insumo-produto mais recente publicada pelo IBGE, quando o trabalho foi realizado, refere-se ao ano de 1996. Entretanto, o IBGE fornece informações sobre transações avaliadas a preço de consumidor para anos mais recentes (até 2002 quando realizado o estudo) em seu sistema de contas nacionais (IBGE, 2005). Essas tabelas podem ser usadas para estimar uma MIP para 2002, como descrito a seguir.

No Brasil, a matriz de insumo-produto de 1996 foi compilada em 15 tabelas dispostas no formato produto-setor, como mostrado no Quadro 7-1.

O IBGE fornece o conjunto completo de tabelas para os anos 1985 e 1990–1996. No entanto, para o período 1997–2002, somente as matrizes 1 e 2 se encontravam disponíveis.³ O exercício de atualização consistiu em obter estimativas para as tabelas restantes, usando a MIP completa de 1996 e as tabelas 1 e 2 de 1997 a 2002.

³ As tabelas 1 e 2 de 2003 estavam sob revisão do IBGE.

As tabelas 3–15 têm 80 linhas (produtos) e 48 colunas (os 42 setores classificados pelo IBGE, o chamado *dummy* financeiro⁴ e as cinco componentes da demanda final – exportação, gastos do governo, consumo das famílias, formação bruta de capital fixo (investimento) e variação de estoque). As classificações padronizadas do IBGE para setores e produtos são indicadas nos Apêndices A e B, respectivamente. O problema consistiu, portanto, em estimar $80 \times 48 \times 13 = 49.920$ valores correspondentes às transações realizadas em um dado ano.

Quadro 7-1: Quadro compõem a matriz de insumo-produto do Brasil (referentes aos anos 1985 e 1990 a 1996)

| | |
|----|-----------------------------------------------------|
| 1 | Tabela de recursos |
| 2 | Tabela de usos a preço de consumidor |
| 3 | Tabela de usos de domésticos a preço básico |
| 4 | Tabela de usos de importados a preço básico |
| 5 | Tabela de imposto de importação |
| 6 | Tabela de ICMS sobre domésticos |
| 7 | Tabela de ICMS sobre importados |
| 8 | Tabela de IPI/ISS sobre domésticos |
| 9 | Tabela de IPI/ISS sobre importados |
| 10 | Tabela de margem de comércio sobre domésticos |
| 11 | Tabela de margem de comércio sobre importados |
| 12 | Tabela de margem de transporte sobre domésticos |
| 13 | Tabela de margem de transporte sobre importados |
| 14 | Tabela de margem e outros impostos sobre domésticos |
| 15 | Tabela de margem e outros impostos sobre importados |

Obviamente, pode haver várias maneiras de se atualizar as MIPs para o Brasil. Por exemplo, o método *ad hoc* sugerido por Guilhoto e Sesso (2005) distribui em cada linha os totais de importações, impostos e margens sobre os produtos (obtidos da tabela 1), usando, como referência, os valores observados na tabela 2 das transações a preço de consumidor. Contudo, esse método, apesar de simples, pode produzir resultados inesperados. O método de múltiplas proporções de correção (MPC), usado aqui, se baseia na hipótese que as mudanças nos coeficientes técnicos podem ser aproximadas

⁴ O *dummy* financeiro era usado pelo IBGE para a correção do PIB.



pelas correspondentes alterações dos valores das transações extraídos da tabela 2 (avaliadas a preço de consumidor). Isso é explicado detalhadamente em Cunha e Scaramucci (2006).

Em modelos de insumo-produto, supõe-se que há uma correspondência biunívoca entre setores e produtos. Entretanto, a matriz de produção fornecida pelo IBGE mostra setores produzindo mais de um produto. Consequentemente, foi necessário obter antes uma MIP normalizada, considerando que cada setor produz apenas um produto. Foram adotadas a abordagem setor-setor e a hipótese de tecnologia baseada na indústria (MILLER e BLAIR, 1985).

A chamada hipótese setor-setor considera que em cada setor os produtos (primários e secundários) são obtidos usando os mesmos insumos nas mesmas proporções, mas em quantidades que são proporcionais ao valor da produção. Os erros introduzidos por esse processo de normalização não são significantes, pois os produtos primários constituem cerca de 90% do total da produção em 40 dos 42 setores detalhados nas matrizes do IBGE.

O detalhamento dos setores de energia envolvidos no estudo foi feito a seguir. Os setores cana-de-açúcar, arroz em casca, etanol, geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade, beneficiamento de arroz, indústria da madeira e gasoálcool foram então desagregados das indústrias em que aparecem nas MIPs publicadas pelo IBGE. Cana-de-açúcar e arroz em casca se encontram no setor de agropecuária. O bioetanol é incluído no setor de elementos químicos. Os setores de eletricidade são parte dos serviços industriais de utilidade pública (SIUP). Finalmente, gasoálcool está do setor de comércio. Os 50 setores produtivos que compõe a base de dados são exibidos no Apêndice C.

A desagregação de um setor requer informações sobre o consumo intermediário, importações, impostos e remuneração dos fatores primários (serviços de capital e mão de obra).

O açúcar e bioetanol são incluídos entre os produtos classificados pelo IBGE, como indicado no Apêndice B, de forma que as linhas correspondentes da tabela de uso no formato produto-setor foram mantidas na matriz normalizada.

Um procedimento de abertura setorial confiável e bastante comum consiste em identificar os principais insumos usados pelo setor a ser desagregado e obter estimativas de engenharia – consultando expertos e publicações especializadas – a respeito das proporções do valor de cada um em relação ao custo total (coeficientes técnicos), o que dá uma estimativa inicial da coluna de consumo intermediário. O passo seguinte é subtrair essa coluna do setor de origem, verificando se nenhuma componente resulta negativa, o que pode acontecer eventualmente. Se isso não ocorrer, a desagregação

estará concluída; caso contrário, é necessário reavaliar os coeficientes técnicos que produziram os valores negativos, e assim sucessivamente.

Todo o procedimento de inserção do tipo ascendente (*bottom-up*) descrito anteriormente não exige ajustes numéricos subsequentes, pois a desagregação – tanto das linhas quanto das colunas – foi obtida por subtração, mantendo, assim, a MIP equilibrada.

No Brasil, a cana-de-açúcar pode ser colhida manualmente ou por máquinas colhedoras e o bioetanol pode ser produzido em destilarias anexas ou autônomas. Essas diferentes tecnologias foram consideradas na base de dados.

Finalmente, a base de dados foi calibrada para ser consistente com os principais indicadores socioeconômicos observados em 2002, como o número de empregos e o rendimento médio de cada trabalhador. Observadas algumas inconsistências, fez-se necessário verificar com os especialistas consultados a exatidão das informações prestadas; em alguns casos, erros foram, de fato, identificados. Dessa forma, o procedimento de calibragem também serviu para ajudar os expertos a produzirem sistematicamente informações mais confiáveis.

Para a calibragem do modelo, supôs-se válidos os seguintes parâmetros para 2002:

- Modo de colheita da cana-de-açúcar: 27% mecanizada e 73% manual;
- Produção de cana-de-açúcar no Brasil: 320,65 milhões de toneladas, sendo 15,7% na região Norte-Nordeste e 84,3% na região Centro-Sul;
- Pessoal ocupado na produção de cana-de-açúcar: 58,7% na região Norte-Nordeste e 41,3% na região Centro-Sul;
- Rendimento médio obtido por trabalhador na produção de cana-de-açúcar: o da região Norte-Nordeste é 41,7% do correspondente à região Centro-Sul;
- Destilarias de etanol: 15% autônomas e 85% anexas (em volume de produção)⁵.

Os coeficientes diretos obtidos são mostrados no Apêndice D. Pode-se observar que a razão entre os coeficientes de emprego da colheita manual e mecanizada é cerca de 6. Produzir R\$ 100.000 de cana-de-açúcar requer seis trabalhadores no modo manual ou apenas um se a colheita for mecanizada.

⁵ De um total de 318 usinas existentes em 2002, 199 tinham destilarias anexas, 104 eram autônomas e apenas 15 produziam somente açúcar.



7.5. O modelo de insumo-produto inter-regional

As aplicações iniciais do modelo de insumo-produto foram feitas nos Estados Unidos para analisar os impactos sobre alguns setores da economia decorrentes das mudanças esperadas ao final da II Guerra Mundial. Nos últimos anos, o interesse na análise econômica em nível regional induziu modificações no modelo de insumo-produto para que se pudesse atender às particularidades dos problemas regionais (MILLER E BLAIR, 1985).

Em trabalhos sobre economia aplicada, é importante tecer as análises em três níveis: o nacional, o regional e o setorial. Após a construção do modelo nacional, para que fosse possível realizar a análise regional dos impactos gerados no cenário considerado no estudo, foi concebido um modelo inter-regional compreendendo as 5 macrorregiões do Brasil (regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul).

O modelo de insumo-produto inter-regional apresenta praticamente a mesma concepção teórica do modelo de insumo-produto para uma única região, como apresentado na seção 7.2. Para facilitar seu entendimento, imagine-se a economia nacional dividida em duas regiões, região Sudeste (SE) e resto do Brasil (RB), e agregada em três setores: agropecuária (agp), indústria (ind) e serviços (svc), como mostra a Tabela 75-1.

A tabela de transações é um retrato agregado da economia brasileira em 2002, obtido a partir de uma matriz de insumo-produto estimada para as 5 regiões do país agregada em 46 setores em cada região. O processo de construção da matriz inter-regional é apresentado posteriormente.

A área sombreada da tabela de transações corresponde ao consumo intermediário setorial, Y representa a demanda final, M as importações, VA o valor adicionado, PO o pessoal ocupado (empregos formais e informais) e X o valor da produção.

Observe-se que cada um dos três setores, em cada uma das duas regiões, está em equilíbrio (lucro econômico zero). Por exemplo, o setor da indústria (ind) na região Sudeste (SE) produziu, em 2002, R\$ 735,994 bilhões. As despesas desse setor aparecem na respectiva coluna, e suas receitas na linha correspondente. O consumo intermediário do setor é de R\$ 384,372 bilhões, dos quais R\$ 35,051 bilhões (9,1%) são provenientes do resto do Brasil.

Tabela 7.5-1: Tabela de transações inter-regional

| Brasil 2002 (R\$ bilhão) | agp (SE) | Ind (SE) | svc (SE) | agp (RB) | ind (RB) | svc (RB) | Demanda Final (Y) | Demanda total (X) |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|
| agp (SE) | 9,269 | 31,684 | 1,578 | 0,001 | 3,987 | 0,095 | 23,638 | 70,251 |
| ind (SE) | 14,144 | 263,952 | 69,156 | 9,291 | 39,130 | 17,794 | 322,527 | 735,994 |
| svc (SE) | 5,079 | 53,685 | 85,899 | 2,133 | 10,393 | 17,942 | 452,610 | 627,740 |
| agp (RB) | 0,042 | 8,635 | 0,900 | 20,457 | 46,036 | 3,556 | 44,923 | 124,550 |
| ind (RB) | 0,135 | 20,085 | 3,895 | 14,293 | 154,353 | 57,529 | 256,267 | 506,556 |
| agp (RB) | 0,073 | 6,330 | 2,639 | 6,011 | 32,202 | 66,087 | 364,824 | 478,167 |
| Importação (M) | 1,474 | 53,440 | 16,614 | 2,685 | 32,682 | 16,832 | 56,827 | |
| Valor adicionado (VA) | 40,035 | 298,182 | 477,059 | 69,679 | 187,773 | 298,333 | 4,966 | |
| Produção (X ^T) | 70,251 | 735,994 | 627,740 | 124,550 | 506,556 | 478,167 | | |
| Empregos [milhão] | 2,403 | 7,095 | 22,295 | 10,105 | 6,003 | 18,472 | | |

Na matriz inter-regional, é possível identificar, além do consumo inter-setorial, qual a região de origem do consumo intermediário dos setores da economia. A partir da matriz de transações, podem-se calcular os coeficientes técnicos diretos como descrito no modelo para uma única região. No exemplo considerado, a matriz A de coeficientes técnicos é mostrada na Tabela 7.5-2.



Tabela 7.5-2: Exemplo de matriz de coeficientes técnicos inter-regionais

| A | agp (SE) | ind (SE) | svc (SE) | agp (RB) | ind (RB) | svc (RB) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| agp (SE) | 0,132 | 0,043 | 0,003 | 0,000 | 0,008 | 0,000 |
| ind (SE) | 0,201 | 0,359 | 0,110 | 0,075 | 0,077 | 0,037 |
| svc (SE) | 0,072 | 0,073 | 0,137 | 0,017 | 0,021 | 0,038 |
| agp (RB) | 0,001 | 0,012 | 0,001 | 0,164 | 0,091 | 0,007 |
| ind (RB) | 0,002 | 0,027 | 0,006 | 0,115 | 0,305 | 0,120 |
| svc (RB) | 0,001 | 0,009 | 0,004 | 0,048 | 0,064 | 0,138 |

Para produzir R\$ 1 bilhão, o setor da indústria do Sudeste usa R\$ 0,359 bilhão de insumos da indústria do próprio Sudeste e R\$ 0,027 bilhão da indústria do resto do Brasil. A equação básica do modelo para uma única região ($X=(I-A)^{-1}.Y$) continua sendo válida; a Tabela 7.5-3 mostra a matriz inversa de Leontief calculada a partir da matriz A da Tabela 7.5-2.

Tabela 7.5-3: Exemplo de matriz inversa de Leontief inter-regional

| $(I - A)^{-1}$ | agp (SE) | ind (SE) | svc (SE) | agp (RB) | ind (RB) | svc (RB) |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| agp (SE) | 1,172 | 0,082 | 0,014 | 0,011 | 0,025 | 0,008 |
| ind (SE) | 0,395 | 1,624 | 0,211 | 0,187 | 0,226 | 0,113 |
| svc (SE) | 0,133 | 0,148 | 1,179 | 0,050 | 0,065 | 0,067 |
| agp (RB) | 0,009 | 0,031 | 0,007 | 1,224 | 0,167 | 0,036 |
| ind (RB) | 0,023 | 0,075 | 0,022 | 0,225 | 1,497 | 0,215 |
| svc (RB) | 0,008 | 0,024 | 0,010 | 0,087 | 0,122 | 1,180 |

Usando-se a equação básica do modelo de insumo-produto, em que a matriz inversa de Leontief está associada a uma matriz de transações inter-regional, é possível avaliar, por exemplo, qual seria o impacto em todos os setores da economia e em todas as regiões, resultante de um aumento na demanda final de R\$ 1 bilhão na indústria atendida somente pela região Sudeste. A quantificação dos impactos, em termos do valor da produção, é calculada pelo produto matricial:

$$\begin{bmatrix} 1,172 & 0,082 & 0,014 & 0,011 & 0,025 & 0,008 \\ 0,395 & 1,624 & 0,211 & 0,187 & 0,226 & 0,113 \\ 0,133 & 0,148 & 1,179 & 0,050 & 0,065 & 0,067 \\ 0,009 & 0,031 & 0,007 & 1,224 & 0,167 & 0,036 \\ 0,023 & 0,075 & 0,022 & 0,225 & 1,497 & 0,215 \\ 0,008 & 0,024 & 0,010 & 0,087 & 0,122 & 1,180 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,082 \\ 1,624 \\ 0,148 \\ 0,031 \\ 0,075 \\ 0,024 \end{bmatrix}$$

Então, para atender à demanda final de R\$ 1 bilhão na região Sudeste, os impactos sobre os valores da produção nos setores do Sudeste seriam: R\$ 0,082 bilhão na agropecuária, R\$ 1,624 bilhão na indústria e R\$ 0,148 bilhão no setor de serviços; no resto do Brasil, R\$ 0,031 bilhão na agropecuária, R\$ 0,075 bilhão na indústria e R\$ 0,024 bilhão no setor de serviços. Observa-se que estes valores corres-



pondem exatamente à 2ª coluna da matriz inversa de Leontief. Os impactos totais, capturando-se os efeitos diretos e indiretos, são dados pela soma dos valores constantes nesta 2ª coluna, a saber, R\$ 1,984 bilhão, sendo R\$ 1,854 (93,4%) na própria região Sudeste e R\$ 0,130 bilhão (6,6%) no resto do Brasil. Portanto, para atender a uma demanda para um setor em uma determinada região, há impactos em todos os setores e em todas as regiões. Esse é o grande benefício do uso de um modelo de insumo-produto inter-regional, capturar os efeitos em todos os setores e em todas as regiões, mesmo quando o choque na demanda final ocorre em único setor em uma única região.

No exemplo didático apresentado, se o choque fosse de R\$ 1 bilhão na indústria, mas no resto do Brasil, os impactos (em termos do valor da produção) corresponderiam à 5ª coluna da matriz inversa de Leontief; na região Sudeste, o valor total seria de R\$ 0,316 bilhão (15,0%), e no resto do Brasil, R\$ 1,786 bilhão (85%).

Estas diferenças nas importações inter-regionais (6,6% para o Sudeste e 15,0% para o resto do Brasil) mostram que a região Sudeste é mais importante que o resto do Brasil em termos da interdependência econômico-regional no setor indústria, consequência das diferentes estruturas produtivas em cada região para o mesmo setor. O mesmo ocorre para os setores da agropecuária e serviços, onde os valores encontrados para o Sudeste são 2,3% e 2,7% respectivamente, e para o resto do Brasil, 13,9% e 11,6%.

Embora os exemplos apresentados refiram-se ao valor da produção, as análises em termos das diferenças setoriais e regionais podem ser estendidas para a quantificação do valor adicionado e dos empregos.

A estrutura da matriz é apresentada na Figura 75-1. Note-se a semelhança dessa figura com a Tabela 75-1: a área sombreada corresponde ao consumo intermediário inter-regional, contemplando as transações intra e inter-regionais nas cinco regiões, sendo formada por um total de 25 submatrizes. Por exemplo, a submatriz Cl_{CO-SE} apresenta o consumo intermediário dos setores da região Sudeste pelos setores da região Centro-Oeste.

Como a economia está agregada em 46 setores em cada região, cada uma das 25 submatrizes é de ordem 46, e, portanto, a matriz que contém todo o consumo intermediário possui ordem 230.

| | N | NE | CO | SE | S | DI | | FAM | RY | | X |
|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------|--|-------------|------------|--|----------|
| N | CI_{N-N} | CI_{N-NE} | CI_{N-CO} | CI_{N-SE} | CI_{N-S} | DI_N | | FAM_N | RY_N | | X_N |
| NE | CI_{NE-N} | CI_{NE-NE} | CI_{NE-CO} | CI_{NE-SE} | CI_{NE-S} | DI_{NE} | | FAM_{NE} | RY_{NE} | | X_{NE} |
| CO | CI_{CO-N} | CI_{CO-NE} | CI_{CO-CO} | CI_{CO-SE} | CI_{CO-S} | DI_{CO} | | FAM_{CO} | RY_{CO} | | X_{CO} |
| SE | CI_{SE-N} | CI_{SE-NE} | CI_{SE-CO} | CI_{SE-SE} | CI_{SE-S} | DI_{SE} | | FAM_{SE} | RY_{SE} | | X_{SE} |
| S | CI_{S-N} | CI_{S-NE} | CI_{S-CO} | CI_{S-SE} | CI_{S-S} | DI_S | | FAM_S | RY_S | | X_S |
| CI | CI_N | CI_{NE} | CI_{CO} | CI_{SE} | CI_S | | | | | | |
| M | M_N | M_{NE} | M_{CO} | M_{SE} | M_S | | | M_{FAM} | M_{RY} | | |
| IIL | IIL_N | IIL_{NE} | IIL_{CO} | IIL_{SE} | IIL_S | | | IIL_{FAM} | IIL_{RY} | | |
| L | L_N | L_{NE} | L_{CO} | L_{SE} | L_S | | | | | | |
| K | K_N | K_{NE} | K_{CO} | K_{SE} | K_S | | | | | | |
| ID | ID_N | ID_{NE} | ID_{CO} | ID_{SE} | ID_S | | | | | | |
| PO | PO_N | PO_{NE} | PO_{CO} | PO_{SE} | PO_S | | | | | | |
| X ^T | X^T_N | X^T_{NE} | X^T_{CO} | X^T_{SE} | X^T_S | | | | | | |

Figura 7-2: Estrutura da matriz inter-regional usada no modelo



Olhando as linhas abaixo do consumo intermediário, a linha identificada como CI representa o consumo intermediário setorial total em cada região. A linha M identifica a importação, e o valor adicionado (VA na Tabela 75-1) está desagregado em suas componentes III, que representa os impostos indiretos líquidos (como IPI e ICMS, por exemplo), L, correspondendo à remuneração sobre o fator primário de produção trabalho, K, identificando a remuneração sobre o fator primário capital, e ID, associada aos impostos diretos que incidem sobre as atividades produtivas (COFINS, por exemplo). A linha PO exhibe o pessoal ocupado em cada uma das atividades nas cinco regiões, e, finalmente, X^T é o valor da produção setorial, que em condição de lucro econômico zero, corresponde às despesas totais de cada setor.

Em relação às colunas à direita da matriz de consumo intermediário, a coluna DI corresponde à demanda intermediária setorial total em cada região. A demanda final (Y) da Tabela 75-1, na Figura 75-1 está desagregada no consumo das famílias (FAM) e no resto da demanda final (RY), atendida por cada uma das 5 regiões. A última coluna (X) representa, novamente, o valor da produção setorial em cada região, sendo igual às receitas de cada setor na condição de lucro econômico zero.

A matriz de insumo-produto nacional com 50 setores foi agregada em 46 setores, sendo referência para o processo de estimação da matriz inter-regional. Isso quer dizer que a agregação regional da matriz inter-regional estimada é exatamente igual à matriz nacional.

Então, em relação ao consumo intermediário, isso significa que cada transação na matriz nacional irá corresponder a 25 transações na matriz inter-regional. Por exemplo, em 2002, estimou-se que o setor da construção civil nacional consumiu R\$ 14,365 bilhões de insumos do setor produtos de minerais não metálicos. Na matriz inter-regional, esta transação precisa ser desagregada em 25, ou seja, saber quanto o setor de construção civil, em cada uma das cinco regiões, consumiu de insumos do setor produtos de minerais não metálicos também em cada uma das regiões.

A base de dados usada para estimar a matriz inter-regional foi a seguinte:

- Sistema de Contas Regionais: informações referentes ao ano de 2002 nas cinco regiões sobre valor da produção, consumo intermediário total e valor adicionado para os seguintes setores: agropecuária, extrativa mineral, serviços industriais de utilidade pública (SIUP), construção civil, comércio, transportes, comunicações, instituições financeiras, aluguel de imóveis e administração pública;
- Censo agropecuário de 1995: informações sobre a participação do pessoal ocupado no setor entre as cinco regiões;

- Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2002: consistiu na principal base de dados para a desagregação regional, colhendo-se valores para 28 setores da indústria da transformação. Foram consultadas as informações sobre o valor bruto da produção industrial, custos das operações industriais, salários, retiradas e outras remunerações, encargos sociais e trabalhistas e, finalmente, o pessoal ocupado;
- Pesquisa anual da indústria da construção (PAIC) 2002: desta fonte extraíram-se as informações regionais sobre o pessoal ocupado e remuneração sobre o fator trabalho do setor construção civil;
- Pesquisa anual do comércio (PAC) 2002: usaram-se os dados sobre pessoal ocupado e remuneração do fator trabalho para o setor comércio;
- Pesquisa anual de serviços (PAS) 2002: computaram-se os valores sobre pessoal ocupado e remuneração do fator trabalho para os setores transportes, comunicações, serviços prestados às famílias, serviços prestados às empresas e aluguel de imóveis;
- Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) 2002: essa fonte foi usada para completar a estimativa do pessoal ocupado e da remuneração sobre o fator trabalho para os setores que não dispunham dessa informação nas fontes citadas anteriormente;
- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2002: usada para obter somente as informações sobre as diferenças regionais do pessoal ocupado e da renda para o setor produtor de cana-de-açúcar;
- Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002: base de dados usada para estimar o consumo regional das famílias

As etapas percorridas para a obtenção da matriz de insumo-produto inter-regional para o ano de 2002 foram as seguintes:

- 1 A partir das informações contidas na base de dados mencionada, construiu-se uma matriz, denominada DadosSetoriais, contendo o valor da produção, o pessoal ocupado, a remuneração sobre o fator trabalho e a remuneração sobre o fator capital (variáveis X, PO, L e K na Figura 75) para cada um dos 46 setores, em cada uma das cinco regiões;
- 2 Aplicando-se as proporções das variáveis X, PO, L e K encontradas na matriz DadosSetoriais sobre os valores correspondentes da matriz nacional, estimaram-se seus valores regionais;
- 3 Usando-se as mesmas proporções em relação ao valor da produção setorial nacional, foram estimados os valores referentes aos impostos diretos (ID na Figura 75);
- 4 Cálculo do consumo intermediário a preço de consumidor, obtido pela subtração das variáveis L, K e ID do valor da produção (X);
- 5 Obtenção das importações (M) e dos impostos indiretos líquidos (IIL), usando-se as



- proporções dos respectivos valores setoriais sobre o consumo intermediário a preço de consumidor;
- 6 Cálculo do consumo intermediário (CI), obtido pela subtração das importações (M), impostos indiretos líquidos (IIL), remuneração sobre o fator trabalho (L), remuneração sobre o fator capital (K) e impostos diretos (ID) do valor da produção (X);
 - 7 Avaliação do consumo regional das famílias, aplicando-se as proporções regionais para cada setor, obtidas na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), sobre o consumo das famílias nacional;
 - 8 Estimativa do consumo inter-regional das famílias, admitindo que o consumo regional das famílias seja atendido de forma proporcional à participação regional da produção para cada setor;
 - 9 Agregação do consumo inter-regional das famílias em uma única coluna, obtendo-se o consumo das famílias atendido por cada uma das regiões (coluna Famílias na Figura 7.5);
 - 10 Cálculo do resto da demanda final inter-regional (coluna RY na Figura 7.5), admitindo-se que é atendida de forma proporcional à participação regional da produção para cada setor;
 - 11 Cálculo da demanda intermediária total (DI), subtraindo-se a demanda das famílias (Famílias) e o resto da demanda final (RY) do valor da produção setorial (X);
 - 12 Após as etapas 2 a 11, resta estimar o consumo intermediário, que é a área sombreada na Figura 7.5-1. Inicialmente, admite-se que a tecnologia setorial regional é igual à tecnologia nacional. Aplicando-se os coeficientes técnicos diretos da matriz nacional sobre o valor da produção setorial regional, obtém-se a primeira estimativa do consumo intermediário total para cada setor, em cada região;
 - 13 O consumo intermediário total em cada região é desagregado intra-regionalmente e inter-regionalmente. O consumo intra-regional é estimado empregando-se a técnica dos quocientes locais, explicada a seguir. Subtraindo-se o consumo intermediário total do consumo intermediário intra-regional, obtém-se o consumo total inter-regional, cuja desagregação é feita proporcionalmente à participação da produção regional do insumo em relação à produção total do insumo em todas as regiões, exceto a própria região;
 - 14 O consumo intermediário regional, assim obtido, resultará em uma matriz com alguns desequilíbrios, pois a soma de suas linhas não será exatamente igual ao consumo intermediário total (CI), e a soma de suas colunas não corresponderá precisamente à demanda intermediária total (DI). Para proceder à correção, é aplicado o método biproporcional de ajuste⁶ (RAS).

⁶ O método biproporcional de ajuste é descrito em detalhe em Miller e Blair (1985).

O emprego de quocientes locais para estimar as transações inter-regionais é um recurso muito usado em trabalhos sobre economia regional, dada a escassez de informações sobre a configuração tecnológica local (no contexto do modelo de insumo-produto). Em Miller e Blair (1985), há uma explicação detalhada sobre o emprego dos diferentes tipos de quocientes.

Seja a_j^R o coeficiente técnico do setor j da região R em relação ao uso do insumo provido pelo setor i também da região R , ou seja, a_j^R é um coeficiente técnico intra-regional.

Seja o quociente inter-industrial definido como:

$$CIQ_{ij}^R = \left[\frac{X_i^R / X_i^N}{X_j^R / X_j^N} \right]$$

A estimativa dos coeficientes intra-regionais foi feita empregando-se a seguinte expressão:

$$a_{ij}^{RR} = \begin{cases} a_{ij}^N (CIQ_{ij}^R) & \text{se } CIQ_{ij}^R < 1 \\ a_{ij}^N & \text{se } CIQ_{ij}^R \geq 1 \end{cases}$$

A ideia é que se a participação do valor da produção regional do setor i , em relação ao valor da produção nacional do mesmo setor, é maior que a participação do valor da produção regional do setor j em relação ao valor da produção nacional do setor j

(isto é, $CIQ_{ij}^R > 1$), então todo o insumo necessário do setor i para suprir o consumo intermediário do setor j na região R pode ser totalmente atendido pelo setor i da própria região R .



7.6. Impactos socioeconômicos regionais devido às exportações de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano

No estudo realizado, os impactos socioeconômicos foram calculados em um cenário correspondente à exportação de 205 bilhões de litros de etanol. Os efeitos – diretos, indiretos e induzidos – são medidos usando-se quatro métricas: valor da produção, valor adicionado (PIB), postos de trabalho (empregos) e geração de eletricidade. Os impactos são quantificados nas cinco regiões do país, adicionando-se a possibilidade da produção de bioetanol a partir de hidrólise, bem como a simulação de ganhos de produtividade na fase agrícola do cultivo da cana-de-açúcar.

O modelo inter-regional desenvolvido permitiu simular uma quantidade considerável de combinações, sendo concebido para trabalhar com as seguintes variáveis exógenas:

- Volume das exportações de etanol;
- Configuração regional, nas cinco regiões do país, das seguintes variáveis:
- Produção de etanol;
- Participação da colheita mecanizada da cana;
- Produção de bioetanol em destilarias autônomas ou por hidrólise;
- Produção excedente de eletricidade a partir do bagaço da cana;
- Aumento da produtividade da produção de cana.

Em função dos cenários tecnológicos apresentados no Capítulo 4 para a evolução das exportações de bioetanol e expectativas do aumento da produtividade na produção de cana, assim como as tecnologias mencionadas no Capítulo 3 para a produção de bioetanol por hidrólise, optou-se por quantificar os impactos socioeconômicos em quatro simulações distintas, que compreendem as seguintes comparações:

- 1 Exportar 205,00 bilhões de litros de bioetanol ao ano em 2025 (Cenário 2);
- 2 Quantificar o impacto acima considerando um cenário sem evolução tecnológica, denominado cenário “Sem Tecnologia” no Capítulo 5 (sem evolução da produtividade da cultura de cana e destilarias produzindo 85 l/tc) e outro com evolução, sendo escolhido o cenário denominado “Tecnologia Progressiva” no Capítulo 5;
- 3 Quantificar todos os impactos com uma expectativa para o ano de 2015.

As 3 comparações resultam, então, em quatro simulações distintas, apresentadas na Tabela 7.6-1.

Tabela 7.6-1: Simulações realizadas para quantificar os impactos regionais

| Simulação | Descrição |
|-------------|-----------------------------------|
| Simulação 1 | “Sem Tecnologia”, em 2015 |
| Simulação 2 | “Tecnologia Progressiva”, em 2015 |
| Simulação 3 | “Sem Tecnologia”, em 2025 |
| Simulação 4 | “Tecnologia Progressiva”, em 2025 |

Foram admitidas cinco tecnologias possíveis para a produção de bioetanol nas simulações realizadas, a saber:

- Tecnologia convencional, produzindo 85,0 l/tc e gerando um excedente de 40,0 kWh/tc;
- Tecnologia convencional, produzindo 88,0 l/tc e gerando um excedente de 121,3 kWh/tc em 2015;
- Tecnologia convencional, produzindo 88,0 l/tc e gerando um excedente de 160,2 kWh/tc em 2025;
- Hidrólise I: produção de 91,0 l/tc pelo processo convencional + 12,6 l/tc pelo processo de hidrólise (totalizando 103,6 l/tc), além da geração de um excedente de 49,3 kWh/tc;
- Hidrólise II: produção de 92,5 l/tc pelo processo convencional + 31,8 l/tc pelo processo de hidrólise (totalizando 124,3 l/tc), além da geração de um excedente de 54,7 kWh/tc;

A Tabela 7.6-2 exhibe, em detalhes, as hipóteses assumidas em cada uma das simulações.



Tabela 7.6-2: Hipóteses assumidas em cada simulação

| Item/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Exportação bioetanol [bi l] | 63,75 | 63,75 | 205,00 | 205,00 |
| Norte | 6,4% | 6,4% | 5,0% | 5,0% |
| Nordeste | 27,5% | 27,5% | 39,9% | 39,9% |
| Centro-Oeste | 49,4% | 49,4% | 41,5% | 41,5% |
| Sudeste | 16,7% | 16,7% | 13,6% | 13,6% |
| Sul | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Tecnologia convencional (l/tc) e participação | 85,0 100,0% | 88,0 64,8% | 85,0 100,0% | 88,0 24,0% |
| Participação Hidrólise I | 0,0% | 35,2% | 0,0% | 62,3% |
| Participação Hidrólise II | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 13,7% |
| Litros/tc equivalente | 85,0 | 93,5 | 85,0 | 102,7 |
| Aumento produtividade da cana (N) | 0,0% | 21,9% | 0,0% | 48,6% |
| Aumento produtividade da cana (NE) | 0,0% | 21,9% | 0,0% | 48,6% |
| Aumento produtividade da cana (CO) | 0,0% | 14,6% | 0,0% | 31,4% |
| Aumento produtividade da cana (SE) | 0,0% | 10,8% | 0,0% | 22,7% |
| Aumento produtividade da cana (S) | 0,0% | 10,8% | 0,0% | 22,7% |

Como pode ser observado, cada uma das simulações contempla arranjos regionais completamente distintos. Os impactos quantificados, separando-se os efeitos diretos e indiretos dos efeitos totais (que inclui o efeito renda), são mensurados sempre no nível regional, em termos do valor da produção (em R\$ bilhões de 2005), do PIB (também em R\$ bilhões de 2005), do número de empregos (formais e informais) e da eletricidade excedente total (em TWh).

Para os resultados apresentados a seguir, são destacados (áreas sombreadas nas tabelas) os cenários tecnológicos para o ano de 2025 “Sem Tecnologia” e “Tecnologia Prudente”.

A Tabela 7.6-3 mostra os resultados em relação aos impactos sobre o valor da produção.



Tabela 7.6-3: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão de 2005)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 10,9 | 10,2 | 27,8 | 24,6 |
| Nordeste | 42,6 | 39,8 | 192,8 | 172,7 |
| Centro-Oeste | 59,9 | 57,5 | 162,1 | 151,1 |
| Sudeste | 44,5 | 40,6 | 126,3 | 107,5 |
| Sul | 5,4 | 4,8 | 16,7 | 13,7 |
| Brasil | 163,3 | 152,8 | 525,8 | 469,6 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 14,7 | 14,0 | 39,9 | 36,7 |
| Nordeste | 53,5 | 50,8 | 227,9 | 207,4 |
| Centro-Oeste | 66,6 | 64,3 | 183,8 | 172,6 |
| Sudeste | 97,5 | 93,8 | 296,2 | 275,5 |
| Sul | 24,1 | 23,6 | 76,5 | 72,9 |
| Brasil | 256,3 | 246,4 | 824,2 | 765,1 |

O valor da produção setorial tem importância como sendo um indicador do aumento do nível da atividade de cada um dos setores da economia. Na Tabela 7.6-3, pode-se observar que o nível de atividade dos cenários tecnológicos que contemplam avanço da tecnologia (simulações 2 e 4) é sem-

pre inferior àqueles sem avanço (simulações 1 e 3), quantificados os efeitos diretos e indiretos e os efeitos totais. Essa diferença, para o Brasil, está entre 6,4% e 10,7% inferior quando se computam os efeitos diretos e indiretos, e entre 3,9% e 7,2% inferior no caso dos efeitos totais. Em cada uma das regiões, estas diferenças também variam.

Em todas as simulações, as regiões Centro-Oeste e Nordeste respondem em torno de 80% da produção de bioetanol para as exportações, constituindo-se nas regiões mais intensamente atingidas pelos efeitos diretos. Os impactos diretos e indiretos refletem esta situação, embora a região Sudeste, contemplada com 13,6% das exportações em 2025 nas simulações 3 e 4, responde, respectivamente, por 24,0% e 22,9% do total (em relação ao Brasil); quando se consideram os efeitos totais, a participação da região Sudeste no nível de atividade sobe para 35,9% e 36,0%. A participação expressiva da região Sudeste nos impactos é explicada pela importância da região na economia nacional, que respondeu por 55% do PIB nacional em 2002, sendo sempre acionada mesmo quando a demanda final deve ser atendida por outra região do país.

Observe-se que em todas as simulações a região Sudeste é a penúltima a ser afetada diretamente; quando se computam os efeitos diretos e indiretos ela passa para a 3ª posição, e para os efeitos totais, ela passa ao 1º lugar, superando até mesmo as regiões Centro-Oeste e Nordeste, como já mencionado, responsáveis aproximadamente por 80% das exportações de bioetanol em cada simulação.

A estimativa do aumento do nível de atividade (valor da produção) regional em cada uma das simulações, calculada em relação a 2005, é apresentada na Tabela 7.6-4.

Nota-se que as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte são aquelas que apresentam os aumentos mais expressivos. Analisando-se os efeitos totais, as regiões Sudeste e Sul também apresentam aumentos significativos, mesmo com a região Sul não contribuindo para as exportações de bioetanol em todos os cenários. O intenso aumento no nível de atividade das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, motivado por um programa em um cenário que acionaria diretamente a indústria do bioetanol e da cana-de-açúcar em condições tecnológicas superiores às atuais, teria reflexos no PIB e nos empregos de cada região, diminuindo as desigualdades regionais, como será apresentado adiante.



Tabela 7.6-4: Estimativa do aumento do valor da produção regional em relação a 2005 (%)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 6,5 | 6,1 | 16,6 | 14,7 |
| Nordeste | 9,4 | 8,8 | 42,5 | 38,1 |
| Centro-Oeste | 20,4 | 19,6 | 55,3 | 51,6 |
| Sudeste | 2,2 | 2,0 | 6,1 | 5,2 |
| Sul | 0,8 | 0,7 | 2,5 | 2,0 |
| Brasil | 4,5 | 4,2 | 14,4 | 12,8 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 8,7 | 8,3 | 23,8 | 21,9 |
| Nordeste | 11,8 | 11,2 | 50,2 | 45,7 |
| Centro-Oeste | 22,7 | 22,0 | 62,7 | 58,9 |
| Sudeste | 4,7 | 4,5 | 14,3 | 13,3 |
| Sul | 3,5 | 3,5 | 11,2 | 10,7 |
| Brasil | 7,0 | 6,7 | 22,5 | 20,9 |

A Tabela 7.6-5 mostra os resultados em relação aos impactos sobre o PIB em cada região. Analogamente ao que se nota em relação ao nível de atividade, as simulações que contemplam evolução do cenário tecnológico apresentam um PIB pouco inferior em relação aos cenários sem evolução, exceto na região Centro-Oeste, que concentra a maior participação nas exportações de bioetanol simuladas. Embora os resultados sejam bastante expressivos nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, novamente a região Sudeste é muito influenciada em valores absolutos, sendo a mais importante quando se computam os efeitos totais, respondendo por aproximadamente 38,5% (simulações 3 e 4) do total.



Tabela 7.6-5: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão de 2005)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 4,8 | 4,7 | 12,3 | 11,6 |
| Nordeste | 18,2 | 17,8 | 82,5 | 80,4 |
| Centro-Oeste | 26,5 | 27,0 | 71,7 | 73,1 |
| Sudeste | 20,4 | 19,0 | 58,3 | 51,2 |
| Sul | 2,2 | 1,9 | 6,8 | 5,6 |
| Brasil | 72,1 | 70,4 | 231,6 | 221,9 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 6,7 | 6,5 | 18,2 | 17,4 |
| Nordeste | 23,6 | 23,3 | 99,9 | 97,6 |
| Centro-Oeste | 29,6 | 30,1 | 81,7 | 82,9 |
| Sudeste | 49,3 | 48,1 | 150,9 | 142,9 |
| Sul | 11,0 | 10,8 | 35,1 | 33,7 |
| Brasil | 120,1 | 118,8 | 385,7 | 374,6 |

Em relação ao ano de 2005, a estimativa do aumento do PIB regional em cada uma das simulações é apresentada na Tabela 7.6-6.

Colocado em prática um programa para as exportações de bioetanol como apresentado neste estudo, os resultados mostram que o impacto sobre o PIB seria enorme, em particular nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Por exemplo, na Simulação 4, a região Centro-Oeste experimentaria, na média, um crescimento de 2,3% ao ano quando se consideram os efeitos totais, quase metade da meta de 5% do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) anunciado no princípio de 2007 pelo governo federal.

Para o crescimento do PIB regional, as diferenças entre os efeitos totais e os efeitos diretos e indiretos são mais expressivas para as regiões Norte, Sudeste e Sul, com as menores participações nas exportações de etanol, mas que ainda assim experimentariam um crescimento vigoroso de suas economias, principalmente quando se mensuram os efeitos totais. Na simulação 4, considerando os efeitos totais, a região Sul teria um crescimento médio de 0,50% ao ano (mesmo sem exportar etanol); o crescimento médio do Brasil seria de 0,9% ao ano, quase um quinto da meta do PAC.



Tabela 7.6-6: Estimativa do aumento do PIB regional em relação a 2005 (%)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 4,7 | 4,6 | 12,0 | 11,3 |
| Nordeste | 6,7 | 6,5 | 30,3 | 29,5 |
| Centro-Oeste | 18,2 | 18,5 | 49,3 | 50,2 |
| Sudeste | 1,9 | 1,8 | 5,5 | 4,8 |
| Sul | 0,6 | 0,5 | 1,9 | 1,6 |
| Brasil | 3,7 | 3,6 | 12,0 | 11,5 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 6,5 | 6,4 | 17,7 | 17,0 |
| Nordeste | 8,7 | 8,5 | 36,7 | 35,8 |
| Centro-Oeste | 20,3 | 20,7 | 56,1 | 57,0 |
| Sudeste | 4,6 | 4,5 | 14,2 | 13,4 |
| Sul | 3,1 | 3,1 | 9,9 | 9,5 |
| Brasil | 6,2 | 6,1 | 19,9 | 19,3 |

A Tabela 7.6-7 mostra os resultados em relação aos impactos regionais sobre os empregos. A diferença entre os empregos quando se computa o efeito renda é expressiva em relação àqueles quando se

levam em consideração somente os efeitos diretos e indiretos, porque a maior parte dos empregos gerados pelo efeito renda encontram-se no setor de serviços.

Tabela 7.6-7: Impactos regionais sobre os empregos (em milhares de pessoas)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 73 | 60 | 187 | 130 |
| Nordeste | 304 | 250 | 1.364 | 949 |
| Centro-Oeste | 328 | 278 | 891 | 647 |
| Sudeste | 287 | 250 | 844 | 659 |
| Sul | 50 | 44 | 156 | 124 |
| Brasil | 1.042 | 882 | 3.443 | 2.510 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 177 | 165 | 521 | 461 |
| Nordeste | 769 | 718 | 2.854 | 2.425 |
| Centro-Oeste | 479 | 430 | 1.377 | 1.128 |
| Sudeste | 1.363 | 1.333 | 4.295 | 4.076 |
| Sul | 485 | 482 | 1.552 | 1.507 |
| Brasil | 3.273 | 3.127 | 10.599 | 9.597 |



Observa-se, como esperado, que há uma redução no número de empregos quando se comparam os cenários com evolução tecnológica com aqueles sem evolução, chegando-se a uma queda de 27,1% para o Brasil quando não se inclui o efeito renda, e a uma queda de 9,5% quando incluído. Ainda assim, o total de empregos gerados com avanço tecnológico em 2025 continua elevado, atingindo quase 10 milhões de empregos (simulação 4).

Novamente, a participação da região Sudeste é significativa quando são avaliados os efeitos diretos e indiretos, apresentando valores próximos aos da região Centro-Oeste, que é muito dependente daquela região para o fornecimento de seus insumos no consumo inter-setorial. Sendo ainda o Sudeste a região que responde por 55% do PIB nacional, quando se adiciona o efeito renda aos efeitos diretos e indiretos, a região Sudeste passa a responder por praticamente 40% dos empregos em todos os cenários, mesmo participando com valores que variam entre 8,9% a 16,7% das exportações de bioetanol nas diversas simulações.

Em relação ao ano de 2005, a estimativa do aumento dos empregos regionais em cada uma das simulações é apresentada na Tabela 7.6-8.

Tabela 7.6-8: Estimativa do aumento dos empregos regionais em relação a 2005 (%)
EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS

| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Norte | 2,0 | 1,7 | 5,2 | 3,6 |
| Nordeste | 2,0 | 1,6 | 8,9 | 6,2 |
| Centro-Oeste | 6,5 | 5,5 | 17,8 | 12,9 |
| Sudeste | 0,8 | 0,7 | 2,5 | 1,9 |
| Sul | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 0,9 |
| Brasil | 1,5 | 1,2 | 4,8 | 3,5 |

EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS

| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Norte | 4,9 | 4,6 | 14,6 | 12,9 |
| Nordeste | 5,0 | 4,7 | 18,6 | 15,8 |
| Centro-Oeste | 9,5 | 8,6 | 27,4 | 22,5 |
| Sudeste | 4,0 | 3,9 | 12,5 | 11,9 |
| Sul | 3,6 | 3,6 | 11,7 | 11,3 |
| Brasil | 4,6 | 4,4 | 14,8 | 13,4 |

Deve-se chamar a atenção para o aumento percentual expressivo dos empregos como um todo, mas em particular Centro-Oeste e Nordeste, ainda que os números nas regiões Norte, Sudeste e Sul sejam também elevados.



Considerando-se os efeitos totais (diretos, indiretos e induzidos) e comparando-se os aumentos regionais do PIB com os aumentos regionais dos empregos, pode-se calcular o aumento da produtividade (razão entre o PIB e o número de empregos) em cada região, e usar este índice como proxy para o PIB per capita regional, avaliando o impacto na redução das desigualdades regionais. A Tabela 7.6-9 exibe o aumento da produtividade regional em cada uma das simulações.

Na simulação 4, prevendo avanço tecnológico na produção de bioetanol e de cana-de-açúcar, vê-se que o aumento da produtividade nacional seria de 5,2%. Nota-se que os aumentos da produtividade são sempre superiores nas simulações que contemplam avanço tecnológico, exceto nas regiões Sudeste e Sul, aquelas que apresentam os menores impactos diretos das exportações de etanol.

Tabela 7.6-9: Estimativa do aumento da produtividade regional (PIB/empregos) em relação a 2005 (%)

| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 1,5 | 1,7 | 2,8 | 3,6 |
| Nordeste | 3,5 | 3,7 | 15,3 | 17,3 |
| Centro-Oeste | 9,8 | 11,1 | 22,5 | 28,2 |
| Sudeste | 0,6 | 0,6 | 1,5 | 1,4 |
| Sul | -0,5 | -0,5 | -1,6 | -1,6 |
| Brasil | 1,6 | 1,7 | 4,4 | 5,2 |

Nitidamente, os resultados mostram que os aumentos nas produtividades das economias das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte seriam bem superiores aos experimentados nas regiões Sudeste e Sul. Os aumentos na produtividade da região Sudeste seriam quase nulos, explicados pelo fato de a região já concentrar a maior produtividade do país; as pequenas quedas de produtividade na região Sul são justificadas porque a região não participa diretamente das exportações de etanol,

sendo mais atingida pelos efeitos induzidos sobre os setores de serviços, que são mais intensivos no uso de mão de obra.

Portanto, o grande aumento nas produtividades das regiões Centro-Oeste e Nordeste mostra que um programa para expansão da produção de bioetanol nestas regiões, como tratado no estudo, seria uma alternativa viável para reduzir as desigualdades regionais.

A Tabela 7.6-10 apresenta os resultados em relação aos impactos sobre o excedente de eletricidade na economia em cada região. A exportação de bioetanol em uma determinada região aciona os demais setores da economia da própria região e de outras também, devidos aos efeitos diretos, indiretos e induzidos em toda a cadeia produtiva. Muitos destes setores, e particularmente as famílias, vão consumir eletricidade, gerando, então, uma demanda de energia elétrica que foi estimulada pela exportação de um produto, em particular, o etanol.

Os excedentes de geração de eletricidade, mostrados na Tabela 7.6-10, são obtidos subtraindo-se do excedente de eletricidade, fornecido pela queima do bagaço de cana na produção de bioetanol em cada região, o consumo de eletricidade em toda a economia para atender as respectivas exportações de etanol. Logo, os excedentes de eletricidade apresentados na tabela tratam de um valor líquido, contemplando o balanço elétrico de toda a economia.



Tabela 7.6-10: Impactos sobre o excedente de eletricidade em toda a economia (TWh)

| EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 1,534 | 3,805 | 3,607 | 5,667 |
| Nordeste | 7,626 | 17,387 | 36,116 | 56,968 |
| Centro-Oeste | 14,550 | 32,973 | 39,225 | 65,724 |
| Sudeste | 4,075 | 10,293 | 10,188 | 18,386 |
| Sul | -0,928 | -1,252 | -2,917 | -5,013 |
| Brasil | 26,856 | 63,206 | 86,219 | 141,732 |
| EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS | | | | |
| Região/Simulação | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
| Norte | 0,258 | 2,520 | -0,486 | 1,596 |
| Nordeste | 6,159 | 15,942 | 31,410 | 52,338 |
| Centro-Oeste | 13,440 | 31,901 | 35,666 | 62,263 |
| Sudeste | 0,234 | 6,642 | -2,131 | 6,556 |
| Sul | -4,631 | -4,966 | -14,797 | -16,803 |
| Brasil | 15,461 | 52,039 | 49,663 | 105,950 |

Os números negativos que aparecem na Tabela 7.6-10 indicam que, naquela simulação e na respectiva região, há a necessidade de oferta de eletricidade pelo sistema hidrotérmico de potência para atender o consumo de eletricidade em toda a economia da região, que, eventualmente, não pode

ser atendido pelos excedentes gerados pela queima do bagaço e palha de cana-de-açúcar. Por exemplo, olhando-se para os efeitos diretos e indiretos, observa-se que há a necessidade de oferta de eletricidade pelo sistema hidrotérmico na região Sul, o que é facilmente explicado pelo fato de a região não ter sido contemplada com as exportações de bioetanol nos cenários considerados. Quando se computam os efeitos induzidos (efeito renda), a região Sudeste também demandará uma complementação do sistema hidrotérmico no cenário sem avanço tecnológico em 2025 (Simulação 3), fato que também ocorre na região Norte.

Chama a atenção que os excedentes são muito maiores nos cenários que contemplam evolução tecnológica, quando comparados àqueles sem a evolução. Isto é explicado porque no cenário “Tecnologia Progressiva” há um grande aumento das tecnologias que oferecem mais excedentes de eletricidade por tonelada de cana moída, como descrito logo após a Tabela 7.6-1.

Nota-se que os grandes excedentes encontram-se nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Portanto, para que possam ser aproveitados, é essencial que as destilarias instaladas na região estejam próximas às subestações, como apontado no Capítulo 3. Os excedentes líquidos em toda a economia são bastante reduzidos quando se comparam os efeitos totais com os efeitos diretos e indiretos, mostrando a importância de se abordar o efeito renda também no campo energético. Ainda assim, uma observação sobre o cenário com mudança tecnológica para 2025 (Simulação 4) e quando se computam os efeitos totais, mostra que haveria um excedente líquido de 106,0 TWh, que representa 28,3% do consumo total de eletricidade do Brasil em 2005.

Finalmente, uma comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de bioetanol foi feita em relação às exportações de produtos do refino do petróleo. Supôs-se uma situação com os mesmos parâmetros da simulação 4, entretanto, em vez de se exportar 205,0 bilhões de litros de etanol, supôs-se a metade (para substituir 5% da gasolina mundial em 2025), distribuídos regionalmente como mostrado na Tabela 7.6-2. Foi feito um choque exportando produtos do refino do petróleo com os mesmos valores monetários das exportações de etanol, concentrada totalmente na região Sudeste. Na Tabela 7.6-11 podem-se comparar os resultados.

Além do PIB setorial ser 18,2% superior, no caso das exportações de etanol, seriam gerados praticamente 2 milhões de empregos a mais, representando uma diferença da ordem de 60%. Em relação ao balanço de energia elétrica em toda a cadeia econômica, as exportações de bioetanol representariam um excedente líquido para a sociedade de 67,9 TWh, enquanto para atender as exportações de refino do petróleo haveria um déficit de 26,8 TWh, que deveria ser atendido pelo sistema hidrotérmico de potência.



Tabela 7.6-11: Comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de 102,5 bilhões de litros de bioetanol com o equivalente monetário em produtos do refino do petróleo

Resultado agregado Brasil com os efeitos totais

| Item | PIB setorial (R\$ bilhão de 2005) | Empregos (milhão) | Eletricidade excedente (TWh) |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Exportação de etanol | 191,0 | 4,9 | 67,9 |
| Exportação de refino do petróleo | 161,6 | 3,1 | -26,8 |
| Vantagem do etanol | 18,2% | 58,1% | - |

7.7. Estimativa dos impactos regionais da expansão da produção de bioetanol no IDH

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) representa um indicador relativo dos fatores longevidade, educação e renda de uma região. Trata-se de uma medida do bem-estar de uma população, sendo usado desde 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD.

A Figura 7.3 mostra um mapa do IDH-M (municipal) para o ano 2000.

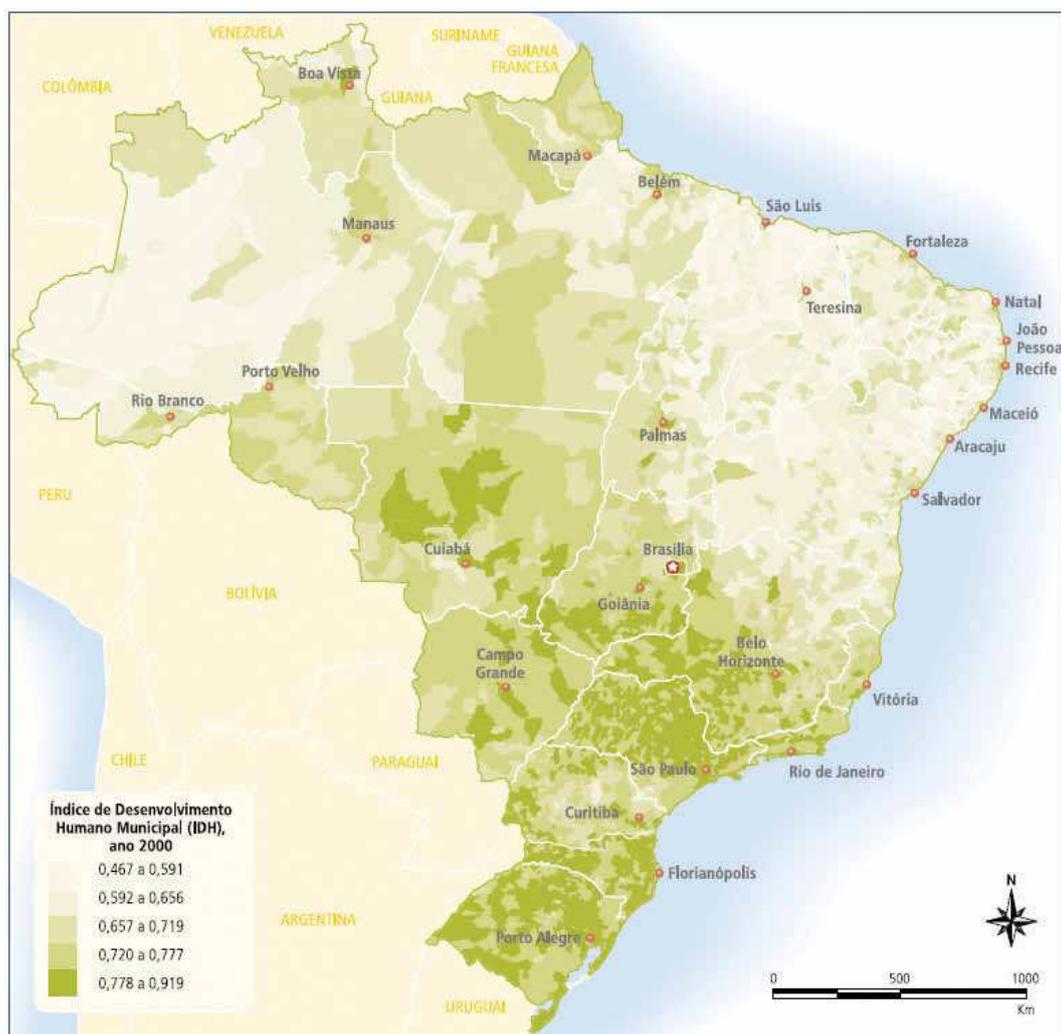


Figura 7-3: Mapa do IDH dos municípios brasileiros

Fonte: ANEEL (2005)



As relações estatísticas aproximadas (ajuste logarítmico) entre renda *per capita* (\bar{y}) e IDH (h) para as cinco macrorregiões do Brasil, respectivamente Norte (N), Nordeste (NE), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S), são as seguintes:

$$h = 0,1119 \ln(\bar{y}) + 0,138 \quad (7.7-1)$$

$$h = 0,1293 \ln(\bar{y}) + 0,0434 \quad (7.7-2)$$

$$h = 0,1083 \ln(\bar{y}) + 0,1638 \quad (7.7-3)$$

$$(7.7-4)$$

$$h = 0,1221 \ln(\bar{y}) + 0,1108 \quad (7.7-5)$$

Supondo-se pequenas variações de \bar{y} , as mudanças causadas em h podem ser aproximadas tomando-se o diferencial total de (7.7-1)–(7.7-5):

$$\Delta h \approx 0,1 \frac{\Delta \bar{y}}{\bar{y}} = 0,1 \Delta \% \bar{y}. \quad (7.7-6)$$

Ainda que a longevidade e a educação também componham o IDH, esses fatores não deixam de ser funções da renda *per capita*, embora essa relação inclua a inércia temporal (razão pela qual a Argentina ainda apresenta IDH significativamente superior ao do Brasil, a despeito da séria crise econômica por que passou anos atrás); daí se poder, em longo prazo, resumir aproximadamente o IDH como mostrado em (7.7-6).

Considerando-se que a população não muda significativamente, então

$$\frac{\Delta \bar{y}}{\bar{y}} \approx \frac{\Delta y}{y}$$

onde y é o PIB total (ou renda da região), de forma que

$$\Delta h \approx 0,1 \frac{\Delta y}{y} = 0,1 \Delta \% y. \quad (7.7-7)$$

Caso a população cresça, o valor de Δh seria inferior ao calculado por (7.7-7). Assim, (7.7-7) representa um limite superior para a variação do IDH.

Por exemplo, supondo-se que a população venha crescendo a uma taxa baixa, se o PIB crescer 100%, então o IDH deve aumentar em 0,1. Assim, se a economia do Brasil crescer 3% a.a., então levará ao menos 23 anos para o IDH do Brasil crescer 0,1. Em 2004, o Brasil apresentou IDH de 0,792, ocupando a 69ª colocação entre todos os países do mundo. Seriam necessários mais de 20 anos para o país atingir a marca de 0,9, alcançada em 2004 por Portugal (0,904) e Coreia do Sul (0,912).

A Tabela 7.7-1 exhibe os dados sobre área territorial, população, densidade populacional e PIB per capita para as cinco macro-regiões do país (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste). A Tabela 7.7-2 mostra os IDHs para os estados brasileiros.

Tabela 7.7-1: Quadro socioeconômico do Brasil por macro-região (2000)

| | Área (km ²) | População | Densidade Populacional (hab/km ²) | PIB per capita (R\$) |
|---------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| Norte | 3.853.327 | 12.900.704 | 3,35 | 3.907 |
| Nordeste | 1.554.257 | 47.741.711 | 30,72 | 3.014 |
| Centro-Oeste | 1.606.372 | 11.636.728 | 7,24 | 6.559 |
| Sudeste | 924.511 | 72.412.411 | 78,33 | 8.774 |
| Sul | 576.410 | 25.107.616 | 43,56 | 7.692 |
| Brasil | 8.514.877 | 169.799.170 | 19,94 | 6.473 |

Fonte: ANEEL (2005)

Tabela 7.7-2: Quadro socioeconômico do Brasil por Unidade da Federação (2000)



| | PIB per capita (R\$) | IDH |
|---------------------|----------------------------|--------------|
| Acre | 3.037 | 0,692 |
| Alagoas | 2.485 | 0,633 |
| Amapá | 4.098 | 0,751 |
| Amazonas | 6.668 | 0,717 |
| Bahia | 3.680 | 0,693 |
| Ceará | 2.794 | 0,699 |
| Distrito Federal | 14.405 | 0,844 |
| Espírito Santo | 6.931 | 0,767 |
| Goiás | 4.316 | 0,770 |
| Maranhão | 1.627 | 0,647 |
| Mato Grosso | 5.342 | 0,767 |
| Mato Grosso do Sul | 5.697 | 0,769 |
| Minas Gerais | 5.925 | 0,766 |
| Pará | 3.041 | 0,72 |
| Paraíba | 2.681 | 0,678 |
| Paraná | 6.882 | 0,786 |
| Pernambuco | 3.673 | 0,692 |
| Piauí | 1.872 | 0,673 |
| Rio de Janeiro | 9.571 | 0,802 |
| Rio Grande do Norte | 3.343 | 0,702 |
| Rio Grande do Sul | 8.341 | 0,809 |
| Rondônia | 4.065 | 0,729 |
| Roraima | 3.417 | 0,749 |
| Santa Catarina | 7.902 | 0,806 |
| São Paulo | 9.995 | 0,814 |
| Sergipe | 3.310 | 0,687 |
| Tocantins | 2.110 | 0,721 |
| Brasil | 6.473 | 0,792 |

Fonte: ANEEL (2005)

A partir da equação (7.7-7) e da Tabela 7.6-6, foram calculadas as variações absolutas dos IDHs de

cada unidade da federação para cada uma das quatro simulações consideradas no item 7.6, Tabela 7.6-2. Seus valores finais são indicados na Tabela 7.7-3; supôs-se que o impacto no PIB de cada macrorregião – considerando-se os efeitos direto, indireto e induzido – pode ser aplicado aos estados que a compõem.

Tabela 7.7-3: Impactos no IDH

| Estado | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
|--------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Acre | 0,698 | 0,698 | 0,710 | 0,709 |
| Alagoas | 0,642 | 0,642 | 0,670 | 0,669 |
| Amapá | 0,757 | 0,757 | 0,769 | 0,768 |
| Amazonas | 0,723 | 0,723 | 0,735 | 0,734 |
| Bahia | 0,702 | 0,702 | 0,730 | 0,729 |
| Ceará | 0,708 | 0,708 | 0,736 | 0,735 |
| Distrito Federal | 0,864 | 0,865 | 0,900 | 0,901 |
| Espírito Santo | 0,772 | 0,772 | 0,781 | 0,780 |
| Goiás | 0,790 | 0,791 | 0,826 | 0,827 |
| Maranhão | 0,656 | 0,656 | 0,684 | 0,683 |
| Mato Grosso | 0,787 | 0,788 | 0,823 | 0,824 |
| Mato Grosso do Sul | 0,789 | 0,790 | 0,825 | 0,826 |
| Minas Gerais | 0,771 | 0,771 | 0,780 | 0,779 |
| Pará | 0,726 | 0,726 | 0,738 | 0,737 |
| Paraíba | 0,687 | 0,687 | 0,715 | 0,714 |
| Paraná | 0,789 | 0,789 | 0,796 | 0,796 |
| Pernambuco | 0,701 | 0,701 | 0,729 | 0,728 |



| Estado | Simulação 1: "Sem Tecnologia", em 2015 | Simulação 2: "Tecnologia Progressiva", em 2015 | Simulação 3: "Sem Tecnologia", em 2025 | Simulação 4: "Tecnologia Progressiva", em 2025 |
|---------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Piauí | 0,682 | 0,682 | 0,710 | 0,709 |
| Rio de Janeiro | 0,807 | 0,807 | 0,816 | 0,815 |
| Rio Grande do Norte | 0,711 | 0,711 | 0,739 | 0,738 |
| Rio Grande do Sul | 0,812 | 0,812 | 0,819 | 0,819 |
| Rondônia | 0,735 | 0,735 | 0,747 | 0,746 |
| Roraima | 0,755 | 0,755 | 0,767 | 0,766 |
| Santa Catarina | 0,809 | 0,809 | 0,816 | 0,816 |
| São Paulo | 0,819 | 0,819 | 0,828 | 0,827 |
| Sergipe | 0,696 | 0,696 | 0,724 | 0,723 |
| Tocantins | 0,741 | 0,742 | 0,777 | 0,778 |
| Brasil | 0,798 | 0,798 | 0,812 | 0,811 |

Note-se que, na Simulação 4, os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso se beneficiariam muito da expansão da produção de etanol, passando a ter IDHs muito próximos ao de São Paulo. O estado de São Paulo continuaria em segundo lugar na classificação, em razão dos ganhos que ainda teria pelo efeito renda. As Unidades da Federação que se encontram na região Nordeste apresentariam ganhos de IDH, que não seriam suficientes, porém, para conduzi-las a posições mais significativas. Piauí, Maranhão e Alagoas continuariam os estados com IDHs mais baixos no Brasil. Brasília, por ter sido considerada como parte da região Centro-Oeste passaria a ter IDH compatível com Portugal.

Na Tabela 7.7-4 apresenta-se uma comparação dos IDHs estaduais no ano 2000 com aqueles estimados na Simulação 4 ("Tecnologia Progressiva" em 2025), bem como o ganho ou perda da posição relativa de cada estado em relação aos demais. Percebe-se que todos os estados da Federação teriam aumento nesse índice, sendo os maiores ganhos obtidos pelos da Região Centro-Oeste.

Tabela 7.7-4: IDH das unidades da federação na Simulação 4
("Tecnologia Progressiva" em 2025)

| | IDH (2025) | IDH (2000) | Posição |
|---------------------|---------------|---------------|---------|
| Distrito Federal | 0,901 | 0,844 | ↔ |
| São Paulo | 0,827 | 0,814 | ↔ |
| Goiás | 0,827 | 0,770 | ↑ |
| Mato Grosso do Sul | 0,826 | 0,769 | ↑ |
| Mato Grosso | 0,824 | 0,767 | ↑ |
| Rio Grande do Sul | 0,819 | 0,809 | ↓ |
| Santa Catarina | 0,816 | 0,806 | ↓ |
| Rio de Janeiro | 0,815 | 0,802 | ↓ |
| Paraná | 0,796 | 0,786 | ↓ |
| Espírito Santo | 0,780 | 0,767 | ↓ |
| Minas Gerais | 0,779 | 0,766 | ↔ |
| Tocantins | 0,778 | 0,721 | ↑ |
| Amapá | 0,768 | 0,751 | ↓ |
| Roraima | 0,766 | 0,749 | ↓ |
| Rondônia | 0,746 | 0,729 | ↓ |
| Rio Grande do Norte | 0,738 | 0,702 | ↑ |
| Pará | 0,737 | 0,720 | ↓ |
| Ceará | 0,735 | 0,699 | ↑ |
| Amazonas | 0,734 | 0,717 | ↓ |
| Bahia | 0,729 | 0,693 | ↔ |
| Pernambuco | 0,728 | 0,692 | ↑ |
| Sergipe | 0,723 | 0,687 | ↑ |
| Paraíba | 0,714 | 0,678 | ↑ |
| Acre | 0,709 | 0,692 | ↓ |
| Piauí | 0,709 | 0,673 | ↔ |
| Maranhão | 0,683 | 0,647 | ↔ |
| Alagoas | 0,669 | 0,633 | ↔ |



7.8. Impactos socioeconômicos em um *cluster* típico

Baseado em um modelo *ad hoc* de insumo-produto, fez-se a estimativa dos impactos socioeconômicos locais resultantes da operação de um agrupamento (*cluster*) contendo 15 destilarias, como descrito no Capítulo 4, item 4.3. Considerou-se a produção de 170 milhões de litros de bioetanol ao ano em cada destilaria, totalizando um volume de 2,55 bilhões de litros ao ano por *cluster*.

Das setores produtivos presentes no modelo, foram selecionados 12 que têm influência local (isto é, na região delimitada pelo *cluster*): cana-de-açúcar, etanol, construção civil, comércio, transportes, comunicações, instituições financeiras, serviços prestados às famílias, serviços prestados às empresas, aluguel de imóveis, administração pública e serviços privados não mercantis.

Foi construída uma rotina computacional que simula o cálculo dos efeitos diretos e indiretos pela equação 7.6 (ver item 7.2 desse capítulo), considerando o desenvolvimento em série da matriz inversa de Leontief estendida (com as famílias representadas endogenamente no modelo de insumo-produto) (MILLER e BLAIR, 1985).

Cabe mencionar que os impactos calculados dessa forma representam estimativas inferiores (para baixo) dos efeitos reais, já que setores com expressiva presença local, como, por exemplo, os de resto da agropecuária e alimentos, foram ignorados.

A Tabela 7.8-1 mostra os impactos sobre o valor da produção. Em destaque aparecem os setores de bioetanol e cana-de-açúcar, influenciados principalmente pelo efeito direto, como se poderia esperar.

Tabela 7.8-1: Impactos sobre o valor da produção em um cluster típico (R\$ milhões)

| Setor | Efeito | | | Participação |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | Direto | Direto e indireto | Total | |
| Etanol | 2.322,15 | 2.324,65 | 2.340,65 | 48,1% |
| Cana-de-açúcar | 1.056,54 | 1.136,69 | 1.152,38 | 23,7% |
| Comércio | 36,55 | 83,84 | 307,57 | 6,3% |
| Aluguel de imóveis | 2,03 | 8,05 | 214,10 | 4,4% |
| Transportes | 66,26 | 101,24 | 211,63 | 4,4% |
| Serviços prestados às empresas | 16,26 | 151,51 | 207,47 | 4,3% |
| Serviços prestados às famílias | 0,39 | 2,86 | 148,20 | 3,0% |
| Comunicações | 14,41 | 25,80 | 105,88 | 2,2% |
| Instituições financeiras | 25,99 | 38,38 | 104,80 | 2,2% |
| Administração pública | 2,39 | 9,82 | 24,33 | 0,5% |
| Serviços privados não mercantis | 0,00 | 0,00 | 23,61 | 0,5% |
| Construção civil | 5,24 | 7,24 | 21,54 | 0,4% |
| Total | 3.548,22 | 3.890,10 | 4.862,17 | 100% |

Em destaque aparecem os setores de bioetanol e cana-de-açúcar, influenciados principalmente pelo efeito direto, como se poderia esperar.

A Tabela 7.8-2 exhibe os impactos sobre o nível de empregos. Diferentemente do que ocorre com os impactos sobre o valor da produção, a importância do efeito renda é enorme. Seriam gerados 74.700 empregos em cada cluster, dos quais 42.344 seriam criados através do efeito renda.

Considerando que a cada emprego corresponda uma família média de 2,6 pessoas (dados médios para o Brasil em 2002), a população média do *cluster* típico poderia ser estimada em quase 200.000 pessoas.



Tabela 7.8-2: Impactos sobre o nível de empregos em um cluster típico

| Setor | Efeito | | | Participação |
|---------------------------------|---------------|-------------------|---------------|--------------|
| | Direto | Direto e indireto | Total | |
| Comércio | 2.685 | 5.508 | 18.212 | 24,4% |
| Serviços prestados às famílias | 34 | 247 | 12.790 | 17,1% |
| Cana-de-açúcar | 10.880 | 11.705 | 11.866 | 15,9% |
| Serviços privados não mercantis | 0 | 0 | 9.496 | 12,7% |
| Serviços prestados às empresas | 623 | 5.810 | 7.956 | 10,7% |
| Transportes | 2.092 | 3.197 | 6.682 | 8,9% |
| Etanol | 5.142 | 5.147 | 5.183 | 6,9% |
| Instituições financeiras | 160 | 236 | 645 | 0,9% |
| Administração pública | 51 | 211 | 524 | 0,7% |
| Construção civil | 121 | 167 | 498 | 0,7% |
| Comunicações | 63 | 113 | 463 | 0,6% |
| Aluguel de imóveis | 4 | 14 | 385 | 0,5% |
| Total | 21.855 | 32.356 | 74.700 | 100% |

A Tabela 7.8-3 apresenta os impactos sobre PIB setorial. O PIB anual seria de R\$ 2,34 bilhões.

Tabela 7.8-3: Impactos sobre o PIB em um cluster típico (R\$ milhões)

| Setor | Efeito | | | Participação |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | Direto | Direto e Indireto | Total | |
| Etanol | 920,83 | 921,82 | 928,17 | 39,6% |
| Cana-de-açúcar | 430,90 | 463,59 | 469,99 | 20,1% |
| Aluguel de imóveis | 1,93 | 7,65 | 203,50 | 8,7% |
| Comércio | 23,51 | 48,91 | 164,10 | 7,0% |
| Serviços prestados às empresas | 11,70 | 109,01 | 149,28 | 6,4% |
| Transportes | 27,50 | 42,01 | 87,82 | 3,7% |
| Serviços prestados às famílias | 0,23 | 1,69 | 87,71 | 3,7% |
| Instituições financeiras | 19,20 | 28,36 | 77,42 | 3,3% |
| Comunicações | 8,68 | 15,55 | 63,81 | 2,7% |
| Famílias | 0,00 | 0,00 | 58,34 | 2,5% |
| Serviços privados não mercantis | 0,00 | 0,00 | 21,89 | 0,9% |
| Administração pública | 1,68 | 6,90 | 17,09 | 0,7% |
| Construção civil | 3,30 | 4,56 | 13,56 | 0,6% |
| Total | 1.449,46 | 1.650,06 | 2.342,67 | 100% |

Das informações presentes nas Tabelas 7.8-2 e 7.8-3, pode-se estimar o PIB mensal médio por emprego, na região delimitada por um cluster típico, em R\$ 2.613,41, que vem a ser 54,6% superior à média nacional em 2002.



7.9. Impactos socioeconômicos da etapa de investimentos

Os impactos socioeconômicos devidos aos investimentos foram estimados admitindo-se a construção de 1.004 destilarias novas de acordo com o cenário de tecnologia progressiva⁷ – com capacidade para produzir 204,2 milhões de litros de bioetanol ao ano cada uma –, na expansão da parte agrícola correspondente – cada destilaria processa 2 milhões de toneladas de cana ao ano –, na infraestrutura de transporte dutoviário e na ampliação dos terminais portuários. O investimento total necessário estimado é de R\$ 402,0 bilhões em valores de 2005.

Foi necessário desagregar os investimentos em quatro setores da economia: máquinas e equipamentos, caminhões, construção civil e serviços prestados às empresas.

O investimento direto por destilaria é de R\$ 263,8 milhões (em valores de 2005).⁸ Para o choque, considerou-se que a composição dos custos seria 80%, 10% e 10%, pela ordem, para máquinas e equipamentos, construção civil e serviços prestados às empresas.

Na parte agrícola, o investimento necessário para a produção de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar ao ano é estimado em R\$ 101,4 milhões, considerando colheita totalmente mecanizada.⁹

Obviamente, para se chegar ao valor total dos investimentos para as fases agrícola e industrial da cadeia produtiva do etanol, os custos correspondentes a cada unidade têm de ser multiplicados por 1.004, o número de destilarias que seriam necessárias para produzir 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano no cenário tecnologia progressiva.

Finalmente, para escoar um volume de 205 bilhões de litros de bioetanol ao ano, faz-se necessário investir um total de US\$ 14,5 bilhões (R\$ 35,3 bilhões de 2005) em dutos e na ampliação da estrutura dos terminais portuários.¹⁰ Considerou-se que a composição dos custos seria 65%, 25% e 10% desse valor para máquinas e equipamentos, construção civil e serviços prestados às empresas, respectivamente.

7 Os cenários tecnológicos admitidos no estudo são descritos no Capítulo 5.

8 A estimativa foi obtida do maior fornecedor de bens de capital do setor eletro-sucralcooleiro.

9 Informação obtida da Unica.

10 Ver item 4.3.7 do Capítulo 4.

A Tabela 7.9-1 resume os valores dos investimentos usados.

Tabela 7.9-1: Investimentos (R\$ bilhões de 2005)

| Item | Destilaria | Agricultura | Dutos e terminais | Total |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| Máquinas | 211,9 | 90,9 | 23,0 | 325,8 |
| Caminhões | 0,00 | 6,0 | 0,0 | 6,0 |
| Construção civil | 26,5 | 4,9 | 8,8 | 40,2 |
| Serviços prestados às empresas | 26,5 | 0,0 | 3,5 | 30,0 |
| Total | 264,9 | 101,8 | 35,3 | 402,0 |

Para avaliar os impactos socioeconômicos devido às necessidades de investimentos descritas, usou-se o modelo estendido de insumo-produto. Foi feito um choque na demanda final – que também inclui, entre suas componentes, a formação bruta de capital fixo (investimentos).

Novamente, os impactos socioeconômicos são avaliados em diferentes métricas: valor da produção, empregos e PIB.

Diferentemente do que ocorre na etapa de operação, os efeitos dos investimentos ocorrem somente ao longo do período de tempo de 20 anos em que são feitas as inversões e, portanto, devem ser interpretados como temporários. Assim, os impactos totais são divididos por 20 para que se tenha uma ideia sobre a média anual.

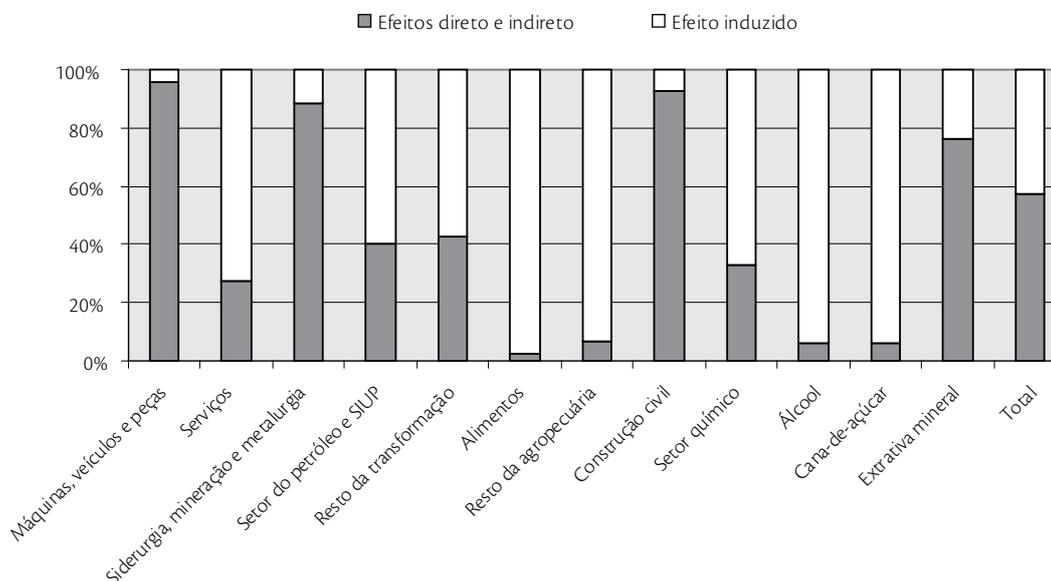
A Tabela 7.9-2 traz os impactos sobre o nível de produção de cada setor, considerando a agregação da economia em 12 setores. O aumento em toda atividade econômica, nos 20 anos, seria de R\$ 965,1 bilhões – que dá R\$ 47,7 bilhões, em média, ao ano. O setor que mais se destaca nesse caso é o setor de máquinas, veículos e peças, com 30,1% do total. Logo após, aparece o setor de serviços, com 25,5% do total, que tem seu crescimento explicado em 71,1% pelo efeito renda.



Tabela 7.9-2: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão)

| Setor | Efeito | | Participação |
|------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|
| | Direto e indireto | Total | |
| Máquinas, veículos e peças | 274,3 | 287,3 | 30,1% |
| Serviços | 70,2 | 243,1 | 25,5% |
| Siderurgia, mineração e metalurgia | 91,6 | 103,5 | 10,8% |
| Setor do petróleo e SIUP | 37,5 | 103,4 | 10,8% |
| Resto da transformação | 25,5 | 66,5 | 7,0% |
| Alimentos | 1,0 | 47,7 | 5,0% |
| Resto da agropecuária | 2,7 | 41,3 | 4,3% |
| Construção civil | 34,5 | 37,2 | 3,9% |
| Setor químico | 7,3 | 15,8 | 1,7% |
| Etanol | 0,2 | 3,5 | 0,4% |
| Cana-de-açúcar | 0,1 | 2,4 | 0,3% |
| Extrativa mineral | 1,8 | 2,4 | 0,3% |
| Total | 546,7 | 954,1 | 100,0% |

O Gráfico 7-4 ilustra bem a contribuição dos diferentes efeitos sobre o aumento na atividade dos setores. Ao todo, 42,7% do aumento da atividade econômica se deve ao efeito induzido. Embora o setor energético esteja sujeito aos impactos diretos exercidos pelas indústrias energo-intensivas de produção de bens de capital, cerca de 60% do aumento em sua produção são explicado pelo efeito induzido.

Gráfico 7-4: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção


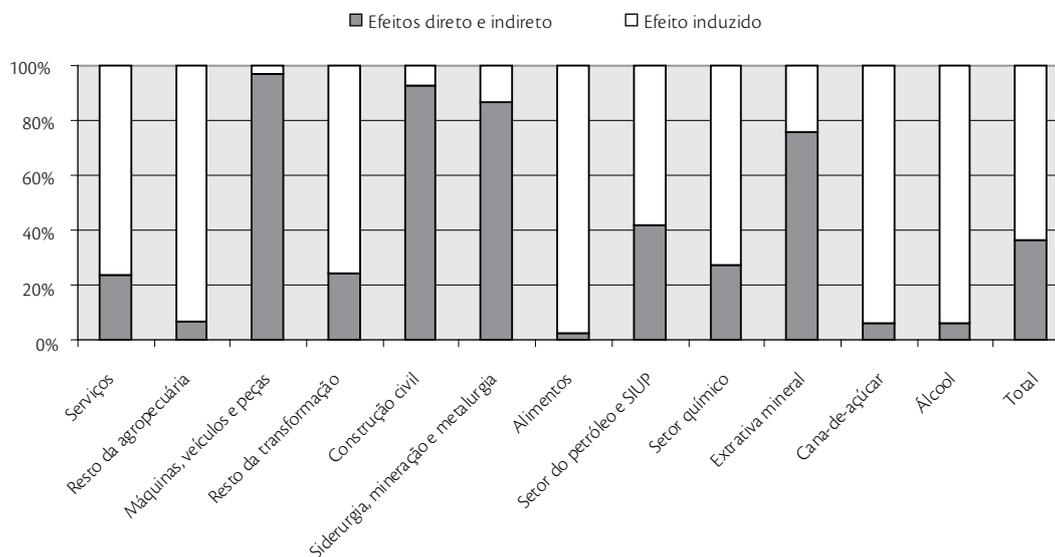
A análise dos impactos no emprego revela um quadro semelhante ao exposto na seção 7.6. Cabe destacar que o impacto maior vem de um setor que não se liga diretamente à cadeia produtiva de bens de capital: o setor de serviços. Seriam gerados, no período de tempo de 20 anos, 20,0 milhões de empregos, que resultariam em uma média anual de 1,0 milhão de postos de trabalhos. A Tabela 7.9-3 expõe os impactos.

Os maiores impactos referem-se aos setores de serviços (55,8% do total), resto da agropecuária (13,4% do total) e o setor de máquinas, veículos e peças (13,0% do total). O Gráfico 7-5 exhibe a contribuição dos diferentes efeitos na geração de empregos. Ao todo, 63,8% dos empregos gerados são explicados pelo efeito renda.



Tabela 7.9-3: Impactos sobre o nível de empregos (em milhares)

| Setor | Efeito | | Participação |
|------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | Direto e indireto | Total | |
| Serviços | 2.629 | 11.161 | 55,8% |
| Resto da agropecuária | 176 | 2.683 | 13,4% |
| Máquinas, veículos e peças | 2.527 | 2.600 | 13,0% |
| Resto da transformação | 294 | 1.259 | 6,3% |
| Construção civil | 799 | 860 | 4,3% |
| Siderurgia, mineração e metalurgia | 715 | 826 | 4,1% |
| Alimentos | 8 | 376 | 1,9% |
| Setor do petróleo e SIUP | 50 | 120 | 0,6% |
| Setor químico | 24 | 54 | 0,3% |
| Extrativa mineral | 26 | 35 | 0,2% |
| Cana-de-açúcar | 2 | 25 | 0,1% |
| Etanol | 1 | 8 | 0,0% |
| Total | 7.248 | 20.006 | 100,0% |

Gráfico 7-5: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos


Finalmente, na Tabela 7-9-4, são mostrados os impactos em relação ao PIB. Os dois setores com maior impacto – serviços e máquinas, veículos e peças – somam, conjuntamente, 64,3% dos efeitos totais no PIB.

Distribuindo-se o aumento total de R\$ 511,9 bilhões no PIB ao longo de 20 anos tem-se, em média, R\$ 25,6 bilhões ao ano.

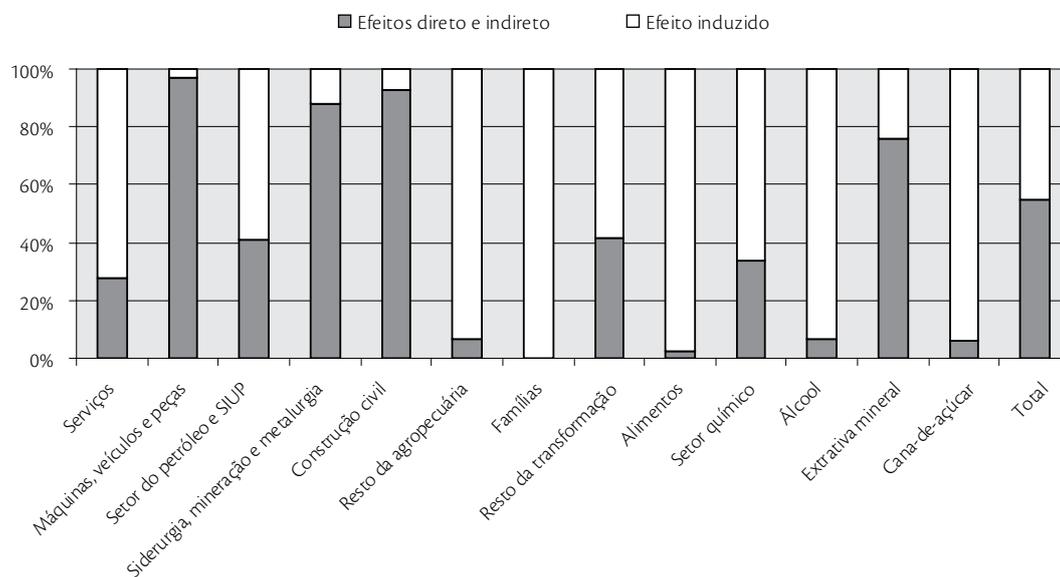
Mais uma vez, o setor de serviços é impulsionado pelo efeito induzido (72,3%). Já o setor de máquinas, veículos e peças é afetado praticamente pelo efeito direto e indireto (97,2%), já que se liga diretamente à cadeia de produção de bens de capital. Destaque-se também a participação das famílias no aumento do PIB, que contribuem com 4,2% dos impactos totais em toda a economia.

O Gráfico 7-6 ilustra a composição dos vários efeitos nos impactos sobre o PIB. No total, 44,9% do aumento do PIB é explicado pelo efeito renda, que exerce grande influência sobre os setores de energia (petróleo e SIUP), resto da agropecuária, resto da transformação, alimentos, serviços e nas famílias (100%).



Tabela 7.9-4: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão)

| Setor | Efeito | | Participação |
|------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|
| | Direto e indireto | Total | |
| Máquinas, veículos e peças | 274,3 | 287,3 | 30,1% |
| Serviços | 70,2 | 243,1 | 25,5% |
| Siderurgia, mineração e metalurgia | 91,6 | 103,5 | 10,8% |
| Setor do petróleo e SIUP | 37,5 | 103,4 | 10,8% |
| Resto da transformação | 25,5 | 66,5 | 7,0% |
| Alimentos | 1,0 | 47,7 | 5,0% |
| Resto da agropecuária | 2,7 | 41,3 | 4,3% |
| Construção civil | 34,5 | 37,2 | 3,9% |
| Setor químico | 7,3 | 15,8 | 1,7% |
| Etanol | 0,2 | 3,5 | 0,4% |
| Cana-de-açúcar | 0,1 | 2,4 | 0,3% |
| Extrativa mineral | 1,8 | 2,4 | 0,3% |
| Total | 546,7 | 954,1 | 100,0% |

Gráfico 7-6: Figura 7.9-3: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB




Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL – acesso através de: <http://www.aneel.gov.br/>
- BARBOSA, M. L. “Responsabilidade social e benefícios”. In: Macedo, I. C. (org.), *A energia da cana-de-açúcar*. Única, 2005.
- CAMPBELL, C. J.. “The Essence of Oil & Gas Depletion”. Multi-Science, Brentwood Essex, UK, 2003.
- CASLER, S. D. Input-Output Analysis. In “Encyclopedia of Energy” (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459–474. Elsevier, San Diego, CA, 2004.
- CUNHA, M. P. Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Tese de mestrado, Unicamp, 2005.
- CUNHA, M. P., AND SCARAMUCCI, J. A. “The construction of an updated economic database for energy studies: an application to the Brazilian sugarcane agroindustry”. International Conference on Regional and Urban Modeling, Brussels June, 1–2, 2006.
- Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (2003). Brazil. Country Analysis Briefs, julho (<http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/brazil.html>).
- GUILHOTO, J. J. M., E U. A. SESSO . “Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais”. *Economia Aplicada* 9 (2), 2005, 277–299.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), “Contas nacionais”, 2005, Acesso através de: http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/rolagem.php
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), Matriz de insumo-produto, 1996. (http://www2.ibge.gov.br/pub/Contas_Nacionais/Matriz_de_Insumo_Produto/1996/).
- KLINK, J. J. (2001). *A cidade-região: regionalismo e reestruturação no Grande ABC Paulista*. DP&A Editora.
- KURTZ, R. (2004). *Energias em Combustão*. Folha de S. Paulo, 11 de julho.
- LEONTIEF, W. “Input-output data base for analysis of technological change”. *Economic Systems Research* 1(3), 1989, 287–295.
- MILLER, R. E., E P. D. BLAIR (1985). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Prentice-Hall.
- REINERT, K. A., E ROLAND-HOLST, D. W. (1997). Social Accounting Matrices. In “Applied Methods for Trade Policy Analysis: A Handbook” (J. F. Francois e K. A. Reinert (eds.), pp. 94–121). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- SCARAMUCCI, J. A., C. PERIN, P. PULINO, O. F. J. G. BORDONI, M. P. CUNHA E L. A. B. CORTEZ . "Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: A computable general equilibrium model". *Energy Policy* 34 (9), 2006, 986–992.
- SCARAMUCCI, J. A., E CUNHA, M. P. "Bioethanol as basis for regional development in Brazil: an input-output model with mixed technologies". 2006 Intermediate Input-Output Meeting, Sendai (Japan), July 26–28.
- STORPER, M., E SALAIS, R. *Worlds of production*. Harvard University Press, 1997.
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA) (2005). (<http://www.unica.com.br/>).



APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO PADRÃO DE SETORES* DO IBGE

| Código | Descrição |
|--------|-------------------------------------|
| 1 | Agropecuária |
| 2 | Extrativa mineral |
| 3 | Extração de petróleo e gás |
| 4 | Minerais não metálicos |
| 5 | Siderurgia |
| 6 | Metalurgia não-ferrosos |
| 7 | Outros metalúrgicos |
| 8 | Máquinas e tratores |
| 10 | Material elétrico |
| 11 | Equipamentos eletrônicos |
| 12 | Automóveis, caminhões e ônibus |
| 13 | Outros veículos e peças |
| 14 | Madeira e mobiliário |
| 15 | Papel e gráfica |
| 16 | Indústria da borracha |
| 17 | Elementos químicos |
| 18 | Refino do petróleo |
| 19 | Químicos diversos |
| 20 | Farmacêutica e de perfumaria |
| 21 | Artigos de plástico |
| 22 | Indústria têxtil |
| 23 | Artigos do vestuário |
| 24 | Fabricação de calçados |
| 25 | Indústria do café |
| 26 | Beneficiamento de produtos vegetais |
| 27 | Abate de animais |
| 28 | Indústria de laticínios |

| | |
|----|--------------------------------------------------|
| 29 | Indústria de açúcar |
| 30 | Fabricação de óleos vegetais |
| 31 | Outros produtos alimentares |
| 32 | Indústria – diversas |
| 33 | Serviços industriais de utilidade pública (SIUP) |
| 34 | Construção civil |
| 35 | Comércio |
| 36 | Transportes |
| 37 | Comunicações |
| 38 | Instituições financeiras |
| 39 | Serviços prestados às famílias |
| 40 | Serviços prestados às empresas |
| 41 | Aluguel de imóveis |
| 42 | Administração pública |
| 43 | Serviços privados não mercantis |

* O setor 9 não existe.



Apêndice B – Classificação padrão de produtos do IBGE (CNAE/80)

| Código | Descrição | Código | Descrição |
|--------|----------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------|
| 0101 | Café em coco | 2001 | Produtos farmacêuticos e de perfumaria |
| 0102 | Cana-de-açúcar | 2101 | Artigos de plástico |
| 0103 | Arroz em casca | 2201 | Fios têxteis naturais |
| 0104 | Trigo em grão | 2202 | Tecidos naturais |
| 0105 | Soja em grão | 2203 | Fios têxteis artificiais |
| 0106 | Algodão em caroço | 2204 | Tecidos artificiais |
| 0107 | Milho em grão | 2205 | Outros produtos têxteis |
| 0108 | Bovinos e suínos | 2301 | Artigos do vestuário |
| 0109 | Leite natural | 2401 | Produtos de couro e calçados |
| 0110 | Aves vivas | 2501 | Produtos do café |
| 0199 | Outros produtos agropecuários | 2601 | Arroz beneficiado |
| 0201 | Minério de ferro | 2602 | Farinha de trigo |
| 0202 | Outros minerais | 2603 | Outros produtos vegetais beneficiados |
| 0301 | Petróleo e gás | 2701 | Carne bovina |
| 0302 | Carvão e outros | 2702 | Carne de aves abatidas |
| 0401 | Produtos minerais não metálicos | 2801 | Leite beneficiado |
| 0501 | Produtos siderúrgicos básicos | 2802 | Outros laticínios |
| 0502 | Laminados de aço | 2901 | Açúcar |
| 0601 | Produtos metalúrgicos não ferrosos | 3001 | Óleos vegetais em bruto |
| 0701 | Outros produtos metalúrgicos | 3002 | Óleos vegetais refinados |
| 0801 | Fabricação e manutenção de máquinas e equipamentos | 3101 | Outros produtos alimentícios e rações |
| 0802 | Tratores e máquinas de terraplanagem | 3102 | Bebidas |
| 1001 | Material elétrico | 3201 | Produtos diversos |
| 1101 | Equipamentos eletrônicos | 3301 | Serviços industriais de utilidade pública |
| 1201 | Automóveis, caminhões e ônibus | 3401 | Produtos da construção civil |
| 1301 | Outros veículos e peças | 3501 | Margem de comércio |

| | | | |
|------|--------------------------------------|------|---------------------------------|
| 1401 | Madeira e mobiliário | 3601 | Margem de transporte |
| 1501 | Papel, celulose, papelão e artefatos | 3701 | Comunicações |
| 1601 | Produtos derivados da borracha | 3801 | Seguros |
| 1701 | Elementos químicos não petroquímicos | 3802 | Serviços financeiros |
| 1702 | Álcool de cana e de cereais | 3901 | Alojamento e alimentação |
| 1801 | Gasolina pura | 3902 | Outros serviços |
| 1802 | Óleos combustíveis | 3903 | Saúde e educação mercantis |
| 1803 | Outros produtos do refino | 4001 | Serviços prestados às empresas |
| 1804 | Produtos petroquímicos básicos | 4101 | Aluguel de imóveis |
| 1805 | Resinas | 4102 | Aluguel imputado |
| 1806 | Gasóálcool | 4201 | Administração pública |
| 1901 | Adubos | 4202 | Saúde pública |
| 1902 | Tintas | 4203 | Educação pública |
| 1903 | Outros produtos químicos | 4301 | Serviços privados não mercantis |



Apêndice C – Correspondência setorial

| Agregação em 14 setores | Agregação em 50 setores |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cana-de-açúcar | Cana-de-açúcar |
| Resto da agropecuária | Arroz em casca; resto da agropecuária |
| Açúcar | Açúcar |
| Álcool | Álcool |
| Eletricidade | Geração de eletricidade; transmissão e distribuição de eletricidade |
| Extrativa mineral | Extrativa mineral |
| Siderurgia, mineração e metalurgia | Siderurgia; minerais não metálicos; metalurgia não-ferrosos; outros da metalurgia |
| Máquinas, veículos e peças | Máquinas e tratores; automóveis, caminhões e ônibus; outros veículos e peças |
| Petróleo e gás | Extração de petróleo e gás; refino do petróleo |
| Setor químico | Elementos químicos não petroquímicos; químicos diversos; farmacêutica e perfumaria |
| Alimentos | Indústria do café; beneficiamento de arroz; beneficiamento de outros produtos vegetais; abate de animais; indústria de laticínios; fabricação de óleos vegetais; outros produtos alimentares |
| Construção civil | Construção civil |
| Resto da transformação | Material elétrico; equipamentos eletrônicos; indústria da madeira; mobiliário; papel e gráfica; indústria da borracha; artigos de plástico; indústria têxtil; artigos do vestuário; fabricação de calçados; indústrias diversas; saneamento básico |
| Comércio e serviços | Gasóilcool; resto do comércio; transportes; comunicações; instituições financeiras; serviços prestados às famílias; serviços prestados às empresas; aluguel de imóveis; administração pública; serviços privados não mercantis |

Apêndice D – Coeficientes técnicos diretos (2002)

| Código | Descrição | CM (¹) | CE (¹) | DA (²) | DS (²) | EB (³) |
|--------|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | Cana-de-açúcar | 0,0651 | 0,0695 | 0,3956 | 0,4608 | 0,0000 |
| 2 | Resto da agropecuária | 0,0141 | 0,0124 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 | Açúcar | 0,0000 | 0,0000 | 0,0701 | 0,0000 | 0,0000 |
| 4 | Álcool | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 5 | Eletricidade | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 6 | Extrativa mineral | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 7 | Siderurgia, mineração e metalurgia | 0,0057 | 0,0051 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0008 |
| 8 | Máquinas, veículos e peças | 0,0133 | 0,0328 | 0,0274 | 0,0261 | 0,0529 |
| 9 | Petróleo e gás | 0,1588 | 0,1880 | 0,0036 | 0,0040 | 0,0000 |
| 10 | Setor químico | 0,1107 | 0,0962 | 0,0178 | 0,0255 | 0,0567 |
| 11 | Alimentos | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 12 | Construção civil | 0,0000 | 0,0000 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0000 |
| 13 | Resto da transformação | 0,0063 | 0,0062 | 0,0104 | 0,0102 | 0,0182 |
| 14 | Comércio e serviços | 0,0988 | 0,1591 | 0,0717 | 0,0707 | 0,0127 |
| | Importação | 0,0261 | 0,0228 | 0,0038 | 0,0038 | 0,0000 |
| | Impostos indiretos líquidos | 0,0239 | 0,0239 | 0,0043 | 0,0043 | 0,0336 |
| | Mão de obra | 0,2905 | 0,0835 | 0,0462 | 0,0462 | 0,1226 |
| | Serviços de capital | 0,1866 | 0,3005 | 0,3069 | 0,3060 | 0,9764 |
| | Impostos diretos | 0,0000 | 0,0000 | 0,0400 | 0,0400 | -0,2739 |
| | Pessoal ocupado [1/R\$1.000] | 0,0622 | 0,0103 | 0,0030 | 0,0021 | 0,0035 |

⁽¹⁾CM: colheita manual; CE: colheita mecanizada;

⁽²⁾DA: destilaria anexa; DS: destilaria autônoma;

⁽³⁾EB: eletricidade de bagaço.



Sustentabilidade



8. Sustentabilidade

Este capítulo analisa a cadeia da produção de etanol, considerando seus impactos na qualidade do ar, suprimento de água, ocupação do solo e biodiversidade. Busca-se, também, avaliar os efeitos do uso de defensivos agrícolas e esforços para a preservação de solos.

Apontam-se ainda as atividades do ciclo de produção e uso de bioetanol em que existem grandes incertezas quanto aos impactos ambientais e que deverão merecer maior atenção em futuras avaliações. Ao mesmo tempo, destacam-se outras atividades em que o conhecimento atual já é suficiente para assegurar o controle e/ou previsão das consequências da intervenção pretendida no meio ambiente para acomodar a expansão da produção de cana e etanol. A ótica adotada não é conservacionista, mas de promoção do desenvolvimento sustentável.

O enfoque da análise apresentada segue os princípios da Análise Ambiental Estratégica (AAE), cujo objetivo é oferecer uma estrutura de análise para integrar políticas públicas relacionadas com o problema em pauta e, ao mesmo tempo, facilitar o diálogo com os atores relevantes. No entanto, é importante destacar que não foram desenvolvidas análises de cunho institucional ou processos consultivos mais abrangentes, como é empregado geralmente nos estudos de AAE realizados quando da implantação efetiva de projetos e programas.

A utilização do bioetanol como substituto da gasolina tem como efeito uma redução de emissões líquidas de CO₂. Considerando-se os dados de Macedo *et al.* (2004) para o ano de 2002, para cada m³ de bioetanol hidratado e anidro consumido, reduz-se 1,7 e 2,6 tCO₂, respectivamente.

O uso controlado do vinhoto e da torta de filtro é reconhecidamente uma boa prática na cultura da cana do ponto de vista ambiental e produtivo, pois permite a total reciclagem dos resíduos industriais (vinhoto, torta de filtro e água de lavagem – de limpeza do chão, de purga do circuito fechado e condensados remanescentes), aumento da fertilidade do solo, redução da captação de água para irrigação, redução do uso de fertilizantes químicos e custos decorrentes.

O consumo de inseticidas, fungicidas, acaricidas e outros defensivos na cultura da cana-de-açúcar no Brasil é inferior ao das culturas de citros, milho, café e soja.

O processo erosivo é a maior causa da degradação das terras agrícolas. O cultivo da cana no país é reconhecidamente uma cultura conservacionista. Alguns autores demonstram que a perda de solo com soja é cerca de 62% maior do que quando se utiliza cana-de-açúcar, e com mamona, cerca de 235% maior (DONZELLI, 2005a). A cultura da cana no Brasil apresenta relativamente pequena perda de solo por erosão, comparada com soja e milho. Essa situação continua melhorando com o aumento da colheita sem queima, reduzindo as perdas a valores muito baixos, mas que podem ser ainda menores com a prática do plantio direto.

8.1. Considerações iniciais:

Análise Ambiental, Estratégica e Sustentabilidade

A dimensão de impactos socioeconômicos e ambientais de um programa de expansão da produção de etanol, como avaliado nesse trabalho, é considerável. Além da cultura da cana-de-açúcar ser um potencial gerador de energia renovável, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis e desenvolvendo um cenário agroenergético promissor, essa atividade é, reconhecidamente, um grande transformador das regiões onde atua. O aumento da produção de etanol, nos volumes considerados no cenário desse estudo, ocasionaria diversos tipos de impactos nas regiões de expansão, sejam eles diretos ou indiretos. Os efeitos cumulativos ao longo de 20 anos, incluindo maior povoamento, introdução de serviços de infraestrutura, comércio e atividades industriais são também efeitos que devem ser considerados em uma avaliação de sustentabilidade, pois são decorrentes da principal atividade que se está delineando para a região.

Este capítulo analisa a cadeia de suprimentos da produção de bioetanol e seus impactos na qualidade do ar, suprimento de água, ocupação do solo e biodiversidade. Busca-se, também, avaliar os efeitos do uso de defensivos agrícolas e esforços voltados para a preservação de solos.

Procura-se, ainda, apontar as atividades do ciclo de produção e uso de bioetanol onde existem grandes incertezas em relação aos impactos ambientais e que devem merecer maior atenção em futuras avaliações. Ao mesmo tempo, procuram-se destacar outras atividades onde o conhecimento atual já é suficiente para assegurar o controle e/ou previsão das consequências da intervenção pretendida no meio ambiente para acomodar a expansão da oferta de cana e produção de etanol.

O enfoque da análise apresentada segue os princípios da Análise Ambiental Estratégica (AAE), cujo objetivo é oferecer uma estrutura de análise para integrar políticas públicas relacionadas com o



problema em pauta e, ao mesmo tempo, facilitar o diálogo com os atores relevantes. No entanto, é importante destacar que não foram desenvolvidas análises de cunho institucional ou processos consultivos mais abrangentes, como é empregado geralmente nos estudos de AAE para a implantação efetiva de projetos.

As seções seguintes explicam a metodologia utilizada para realizar a análise, bem como os limites e melhor conceituação de sustentabilidade utilizados para o presente trabalho. Em seguida, apresentam-se os dados sobre indicadores de sustentabilidade para o processo de produção e uso do etanol.

É realizada uma análise do tipo *Strength, Weakness, Opportunities and Threats* (SWOT) para o cenário considerado para a expansão da produção do etanol. A seção final apresenta o instrumento consultivo que está sendo utilizado para caracterização de impactos ambientais das propostas oferecidas pelo estudo.

8.1.1. A Análise Ambiental Estratégica (AAE)

A abordagem proposta para o estudo está baseada nos princípios da Análise Ambiental Estratégica (AAE), que oferece uma estrutura para integrar políticas públicas relacionadas com o problema da expansão da produção de bioetanol e, ao mesmo tempo, facilitar o diálogo com os atores relevantes. O objetivo é integrar e assegurar que os aspectos econômicos, ambientais e sociais sejam considerados de maneira sistêmica para subsidiar a tomada de decisão relacionada com a expansão da produção de bioetanol no Brasil, mesmo nos estágios iniciais de um estudo prospectivo como o presente.

A AAE é um processo sistêmico abrangente de avaliação dos impactos ambientais advindos da aplicação de políticas, planos ou programas, antes mesmo de sua implantação. Está essencialmente baseado em dados e análises e inclui uma validação através de mecanismos consultivos, visando determinar estratégias de desenvolvimento sustentável no nível de organizações, setores ou mesmo regional¹.

¹ Esse é um conceito retirado dos seguintes autores e publicações: (Vicente & Partidário, 2006), (Pintér & D. Swanson, 2004), (International Association for Impact Assessment, 2002), (Egler, 2001) entre outros.

O estudo realizado consiste de três componentes:

- 1 O primeiro é baseado na organização de informação quantitativa, que deverá identificar indicadores para um desenvolvimento sustentável da política de expansão da produção de bioetanol (seção 8.2). Este estudo é baseado em dados de literatura e tem por objetivo quantificar a utilização de recursos críticos em todo o ciclo de produção e uso do etanol. Essa informação organizada através de indicadores poderá ser utilizada para a definição de “indicadores de sustentabilidade” para o etanol;
- 2 O segundo refere-se a uma análise de riscos sócioambientais associados ao cenário de expansão da produção e das estratégias sugeridas pelo estudo. Essa etapa da análise inclui uma análise do tipo SWOT (seção 8.3);
- 3 O terceiro é um processo consultivo e participatório, aqui limitado aos especialistas envolvidos nesse trabalho, e tem a finalidade de auxiliar a identificação de alternativas de menor impacto sócioambiental e validação das conclusões (seção 8.4).

Devido à complexidade do tema, é necessário e fundamental incluir um processo de consulta a diversos tipos de especialistas e agentes. Isso possibilita melhor avaliação de efeitos cumulativos devidos à distribuição de inúmeros projetos individuais em uma extensa área geográfica com diferentes biomas, a logística de transporte necessária, repercussões sociais em termos de emprego e qualidade de vida das populações que direta ou indiretamente estarão sob influência das atividades relacionadas com a produção de etanol.

A Figura 8-1 apresenta as etapas principais de um estudo de AAE, e os quadros assinalados correspondem aos elementos estudados nesse trabalho.

A presente análise não inclui os importantes aspectos institucionais que deverão estar envolvidos ao se considerar uma eventual implementação concreta de estratégias para a expansão da produção. Não é possível, nesse momento da análise, incluir o papel das diversas agências federais, governamentais, municipais, setor privado etc. Esses agentes, que assumem responsabilidades e desenvolvem ações nas diversas etapas da configuração de políticas públicas para a expansão da produção regional do etanol e que serão ultimamente responsáveis pelas implicações sócio-ambientais da implementação do projeto, deverão estar envolvidos previamente para uma completa análise ambiental estratégica e formulação de políticas públicas necessárias.

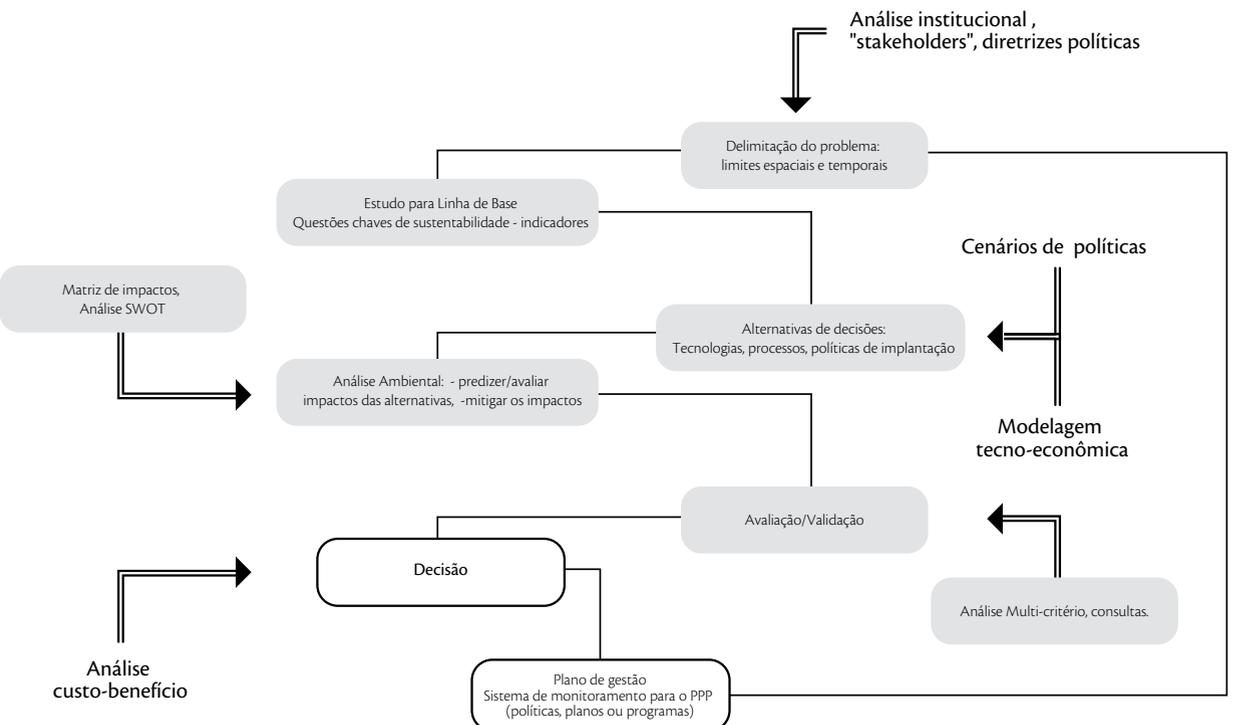


Figura 8-1: Esquema geral da Análise Ambiental Estratégica proposta

Fonte: Baseado em (Nilsson, Bjorklund, Finnveden, & Johansson, 2005) e (International Association for Impact Assessment, IAlA, 1999).

Nota: Os quadros assinalados são os desenvolvidos neste trabalho.

8.1.2. O conceito de sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito normativo, contendo valores, percepções e preferências que precedem uma análise técnica ou científica (OMANN, 2000). No entanto, é necessário apresentar esse conceito de forma que possa ser utilizado para a presente análise.

A definição mais utilizada e citada é aquela mencionada no chamado relatório Brundtland (*World Commission for Environment and Development* WCED, 1987), que diz que uma sociedade pode ser considerada sustentável quando ela atende às necessidades da geração atual e ainda preserva ou mantém a possibilidade de gerações futuras satisfazerem as suas. Ainda não é uma definição operacional e completamente satisfatória, e muitos autores vêm dedicando ao termo diversas interpretações; de fato, essa é uma área complexa e não é o propósito deste estudo. A abordagem aqui proposta é apresentada a seguir.

Um estudo como este, feito por técnicos, apresenta diversas soluções que podem contribuir para a viabilização das metas de produção do cenário considerado. Muitas dessas soluções são tecnicamente e/ou economicamente viáveis dentro do horizonte previsto. Os respectivos impactos ambientais podem ser apreciados dentro da *perspectiva disciplinar* do técnico, no entanto, um tipo de projeto como esse, com profundas implicações de desenvolvimento regional, também deve reconhecer a abrangência necessária para o conceito de sustentabilidade.

De certo modo, a responsabilidade de um técnico é limitada, no sentido que ele está sendo responsável pela legitimidade científica das soluções apontadas, mas não pela implementação das estratégias e seus impactos no âmbito sócioambiental. Já o tomador de decisão ou o formulador de políticas públicas tem essa função e responsabilidade. O processo de decisão a esse nível requer informação qualificada e tempo para examinar as implicações e aceitação das decisões.

É necessário deixar claro que a análise aqui pretendida não abrange essa etapa do processo de decisão mencionada acima, e, portanto, se restringe somente ao âmbito das soluções técnicas e processos sugeridos pela equipe do estudo.

Dentro desses limites, o presente esforço será avaliar e organizar as informações e análises elaboradas segundo as percepções de impactos ambientais que potencialmente apresentam para a região. Esse tipo de análise poderá ser útil para distinguir as soluções apresentadas segundo os diferentes graus de impactos percebidos pelos técnicos e contribuir para subsidiar o processo de tomada de decisão e eventuais estratégias de implementação concreta da expansão da produção de etanol.



Uma abordagem mais completa deverá ser perseguida, caso exista o interesse na implantação de projetos. Nesse caso, a presente metodologia pode ser facilmente ajustada para contemplar maior diversidade de atores e instituições. Conforme explicitado na seção anterior, a presente análise não inclui os importantes aspectos institucionais (incluindo as responsabilidades de monitoramento e verificação dos impactos *ex post* do conjunto dos empreendimentos ao longo do período) que devem ser abordados para a implementação de estratégias para a expansão da produção. Estes agentes institucionais (agências de regulação ambiental, ministérios, governos locais, etc.) devem ser contemplados na análise para que exista a incorporação dos aspectos de sustentabilidade ambiental na elaboração de políticas públicas relacionadas com a expansão da produção de etanol.

8.2. A análise de sustentabilidade

A Figura 8-2 apresenta o esquema geral da cadeia de produção e uso do etanol. Os diferentes estágios do processo possuem impactos potenciais, seja no aspecto social, como econômico e ambiental. Diversos indicadores e critérios podem ser escolhidos para monitorar e avaliar os efeitos potenciais das atividades envolvidas. Recentemente, diversos esforços estão sendo envidados para estabelecer critérios e indicadores para certificação do bioetanol (SMEETS et. al, 2006; DELZEIT et. al., 2007; meó CONSULTING TEAM, 2007, LEWANDOWSKI & FAAJI, 2004). Alguns desses estudos procuram desenvolver ou propor uma diversidade de critérios e indicadores a partir de sistemas de certificação existentes, mas ainda nada viável e concreto tem aparecido.

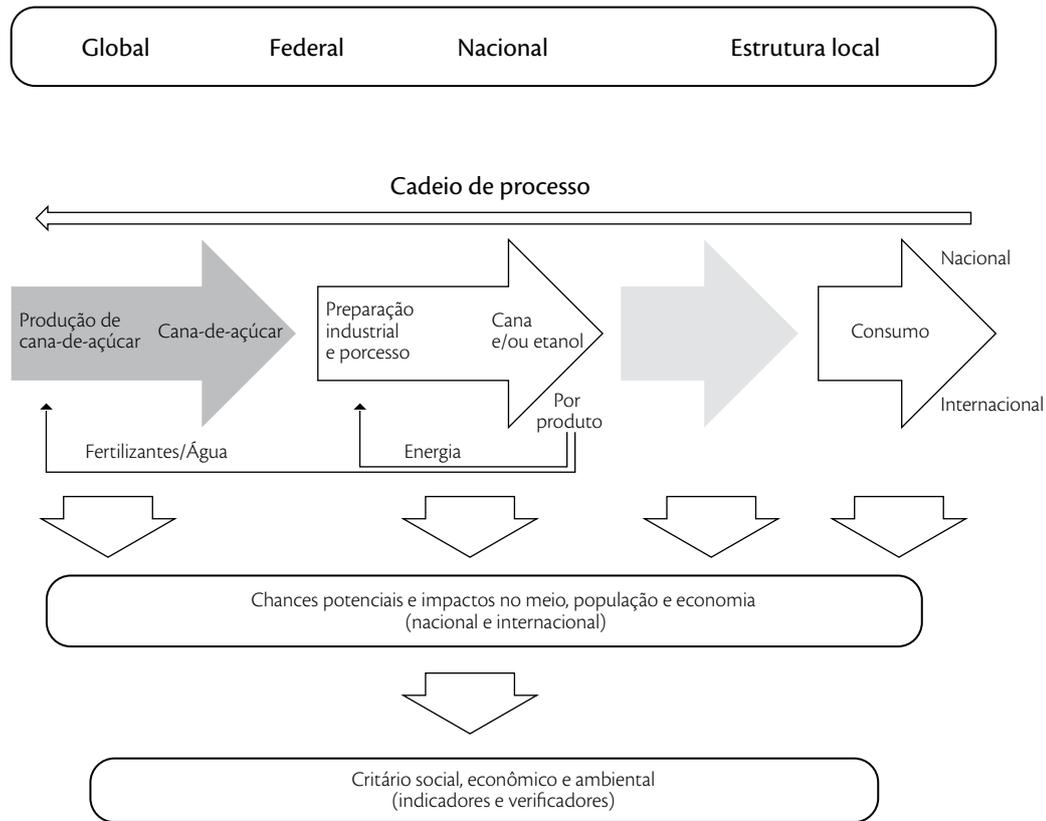


Figura 8-2: Análise de sustentabilidade da cadeia de produção, distribuição e uso do etanol

Fonte: Delzeit, Holm-Müller, & Bohle, 2007

Nesta seção, analisa-se a cadeia de suprimentos da produção e uso do bioetanol e seus impactos na qualidade do ar, suprimento de água, ocupação do solo e biodiversidade. Busca-se, também, avaliar os efeitos do uso de defensivos agrícolas e esforços para a preservação de solos. Procura-se derivar indicadores a partir da literatura existente, referentes aos impactos diretos e indiretos da produção e uso de etanol.



8.2.1. Uso de água

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é realizada praticamente sem o uso de irrigação. Entretanto, seu emprego, ainda que limitado, está aumentando. Isso se deve à crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cana no Cerrado do Brasil que tem levado à exploração de regiões com déficits hídricos mais acentuados. O Nordeste também tem procurado melhorar sua produtividade por meio de irrigação. No entanto, tradicionalmente, a cultura da cana-de-açúcar no Brasil não utiliza irrigação, o que é de grande importância na redução de impactos ambientais (não só pelo menor uso da água como também por evitar arraste de nutrientes, resíduos de agrotóxicos, perdas de solo etc).

No uso industrial, a água entra nas usinas com a cana (cerca de 70% do peso dos colmos) e com a captação para usos na indústria. A água captada é usada em vários processos, com níveis diferentes de reutilização; uma parcela é devolvida para os cursos de água após os tratamentos necessários, e outra parte é destinada, juntamente com a vinhaça, à fertirrigação. A diferença entre a água captada e a água lançada é a água consumida internamente (processos). A Tabela 8.2-1 mostra a evolução deste balanço hídrico para a área industrial.

Tabela 8.2-1: Captação, consumo e lançamento de água: 1990 e 1997

| Volume (m ³) por tonelada de cana | 1990 ¹ | 1997 ² |
|-----------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Captação | 5,6 | 5,07 |
| Consumo | 1,8 | 0,92 |
| Lançamento | 3,8 | 4,15 |

¹ Plano Estadual de Recursos Hídricos – 1994/95 (1º Plano do estado de São Paulo, 1990 – Síntese).

² Levantamento (revisão) efetuado em 1997 pelo CTC com a participação de 34 usinas da Copersucar.

A usina utiliza uma grande quantidade de água nos processos, principalmente para resfriamento de equipamentos e sistemas (média aproximada de 21m³/tc)², como apresentado na Tabela 8.2-2.

Nos valores médios de eficiência industrial atuais, onde cerca de 85 litros de bioetanol são produzidos por tonelada de cana processada em uma destilaria anexa, o consumo de 0,92 m³/tc corresponderia a 10,8 litros de água por litro de etanol.

² Considera a produção de 50% de açúcar e 50% de etanol.

Tabela 8.2-2: Usos da água (valores médios) em usinas com destilaria anexa

| Setor | Processo | Uso médio (m ³ /t de cana total) | Distribuição (%) |
|-----------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Alimentação | Lavagem de cana | 5,33 | 25,4 |
| Extração (moendas) | Embebição | 0,25 | 1,2 |
| | Resfriamento de Mancais | 0,15 | 0,7 |
| Tratamento de Caldo | Preparo de Leite de cal | 0,01 | 0,1 |
| | Resfriamento na Sulfitação ¹ | 0,05 | 0,2 |
| | Embebição dos filtros | 0,04 | 0,2 |
| | Condensadores dos filtros | 0,30 | 1,4 |
| | Condensadores / multijatos evaporação ¹ | 2,00 | 9,5 |
| Concentração do Caldo | Condensadores / multijatos cozedores ¹ | 4,00 | 19,0 |
| | Diluição de méis | 0,03 | 0,1 |
| | Resfriamento cristalizadores ¹ | 0,05 | 0,2 |
| Geração de Energia | Lavagem de açúcar ¹ | 0,01 | 0,0 |
| | Produção de vapor | 0,50 | 2,4 |
| | Resfriamento tubogeradores | 0,20 | 1,0 |
| Fermentação | Resfriamento do caldo ² | 1,00 | 4,8 |
| | Resfriamento de dornas ² | 3,00 | 14,3 |
| Destilaria | Resfriamento condensadores ² | 4,00 | 19,0 |
| Outros | Limpeza de pisos e equipamentos | 0,05 | 0,2 |
| | Uso potável | 0,03 | 0,1 |
| Total | | 21,00 | 100,0 |

¹ Somente na produção de açúcar.

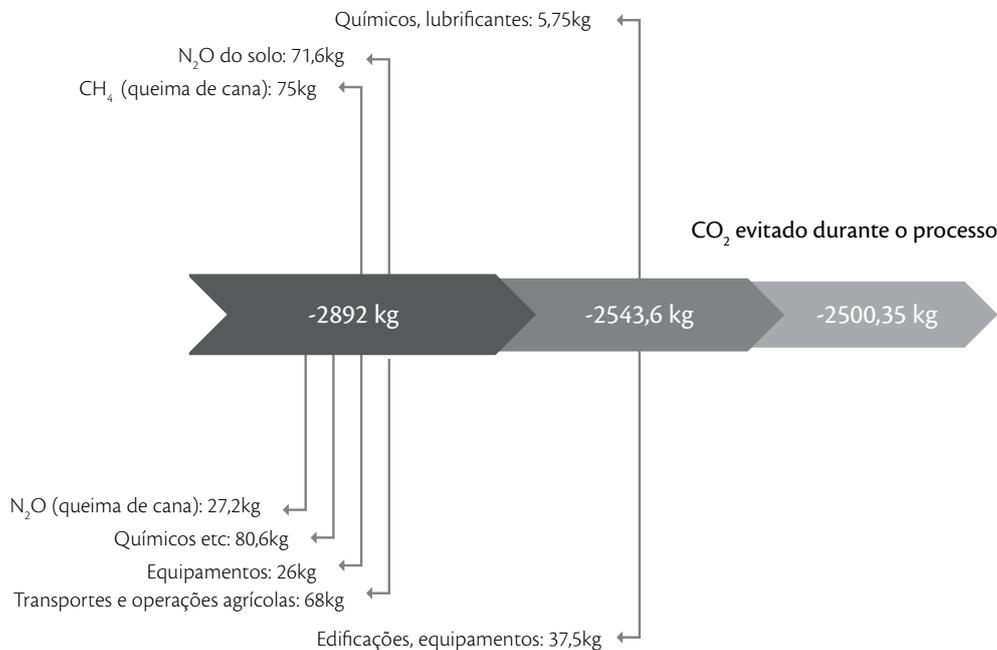
² Somente na produção de etanol.

Fonte: Neto (2005)



8.2.2. Impactos na redução das emissões de GEE

A utilização do bioetanol como substituto da gasolina tem como efeito uma redução de emissões líquidas de CO₂. O valor dessa redução é ainda discutível. As incertezas estão principalmente relacionadas à quantidade de gasolina substituída pelo etanol, à produção de cana-de-açúcar e de etanol, aos insumos utilizados para sua produção e ao impacto do carbono sequestrado no solo quando a vegetação original (floresta, cerrado ou pastagem) é substituída pelo plantio de cana-de-açúcar. Considerando os dados de Macedo *et al.* (2004) para o ano de 2002 (Figura 8-3) e a produção total de bioetanol daquele ano (UNICA, 2007), para cada m³ de bioetanol hidratado e anidro consumido, reduz-se 1,7 e 2,6 tCO₂eq., respectivamente³.



Obs.: considerando-se 71 t de cana/ha e 88 l de etanol/t de cana

Figura 8-3: Balanço das emissões de CO₂ eq. (kg CO₂ eq./m³ de etanol)

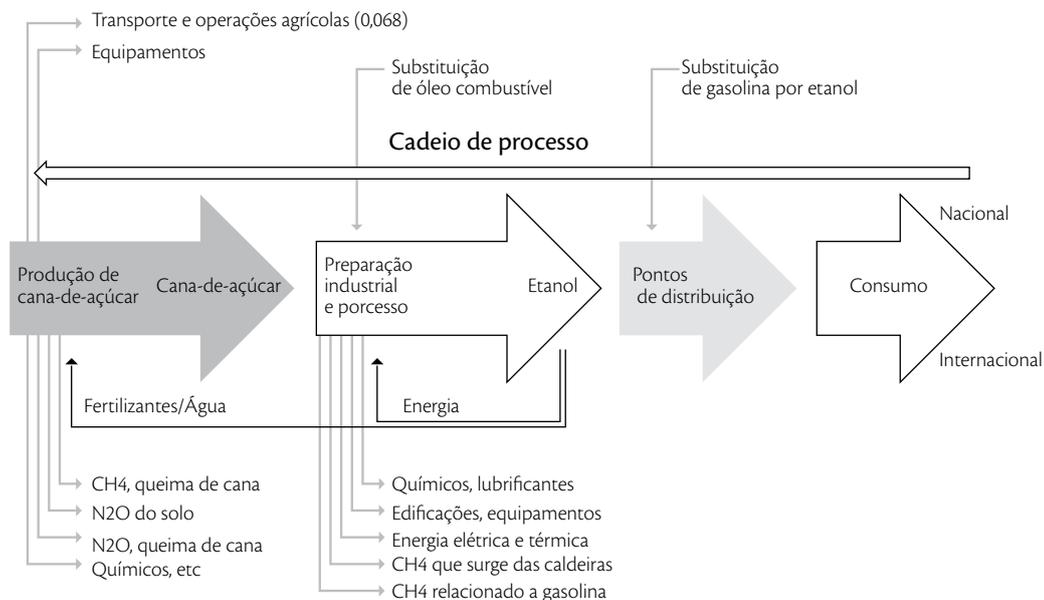
Fonte: elaboração própria a partir de Macedo *et al.* (2004)

³ Macedo *et al.* (2005) não consideraram as emissões de carbono quando da substituição da vegetação original por cana-de-açúcar por não haver informações disponíveis da cobertura vegetal anterior.

8.2.3. Análise do Balanço de Carbono na cadeia de produção e uso

O que causa maior impacto na emissão de gases de efeito estufa é a quantidade de gasolina evitada por causa do uso de etanol. Em contrapartida, há que se levar em conta as emissões de gases de efeito estufa em toda a cadeia produtiva do etanol; essas emissões são decorrentes do uso de combustíveis fósseis e das emissões de metano e óxido nitroso devido à queima parcial da palha no campo, da decomposição de fertilizantes nitrogenados e de resíduos e, finalmente, pela mudança do estoque de carbono do solo e da parte aérea quando se trata de plantio em áreas onde houve mudança da cobertura vegetal.

Um estudo detalhado do ciclo de vida das emissões de gases de efeito estufa, abrangendo toda a cadeia produtiva do bioetanol e seu uso no Brasil, foi executado por Macedo et al. (2004), utilizando uma base de dados consistente e rastreável (Figura 8-4).



*O ciclo da Fotossíntese não está incluído, pois todo carbono fixado pela cana é liberado em forma de CO₂ (queima do bagaço, queima do etanol, fermentação; exceto para uma pequena fração que é fixada no solo).

Figura 8-4: Balanço de CO₂ na cadeia produtiva da cana-de-açúcar e bioetanol e uso do bioetanol (t de CO₂ eq./m³ de etanol)

Fonte: Macedo et al. (2004)



Duas situações foram consideradas nas avaliações de fluxos de energia: a Situação 1 foi baseada nos valores médios de energia e materiais consumidos; a Situação 2 foi baseada nos melhores valores praticados no setor sucroalcooleiro (menores consumos com o uso das melhores tecnologias existentes para o setor).

Macedo et al. (2004) apresentam um balanço positivo da contribuição do uso de bioetanol em substituição à gasolina (Tabela 8.2-3). A intenção aqui é revisar esses valores incluindo os efeitos da alteração do uso do solo na região onde poderia haver a expansão da cultura da cana-de-açúcar.

Na Situação 1 (média), a relação entre as emissões evitadas através do uso do bioetanol em lugar da gasolina e da cogeração a partir do bagaço de cana e as emissões provenientes da cadeia produtiva da cana e do bioetanol é de 7,4 e 5,3 para o álcool anidro e hidratado, respectivamente. Na Situação 2 (melhores valores praticados), a relação passa para 8,6 e 6,2, respectivamente.

Estudos mais detalhados são necessários para quantificar as perdas de carbono do solo com a eventual alteração da cobertura vegetal existente pela cultura da cana.

Tabela 8.2-3: Balanço das emissões de CO₂ (equiv.) por tonelada de cana, devido o uso de bioetanol em substituição à gasolina no Brasil

| Emissões | (kg de CO ₂ eq/tonelada de cana) | |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| | Situação 1 (média) | Situação 2 (melhores valores) |
| Combustíveis fósseis | 19,2 | 17,7 |
| Metano e N ₂ O da queima do bagaço | 9,0 | 9,0 |
| N ₂ O do solo | 6,3 | 6,3 |
| Total de emissões | 34,5 | 33,0 |
| Emissões evitadas | | |
| Uso do excesso de bagaço | 12,5 | 23,3 |
| Uso do etanol | 242,5(A); 169,4(H) | 259,0(A); 180,8(H) |
| Total de emissões evitadas | 255,0(A); 181,9(H) | 282,3(A); 204,2(H) |
| Emissão líquida evitada | 220,5(A); 147,4(H) | 249,3(A); 171,1(H) |

A: álcool anidro.

H: álcool hidratado.

Fonte: Macedo et al. (2004)

8.2.4. Uso de fertilizantes minerais e orgânicos na produção agrícola

O uso de fertilizantes na agricultura brasileira é relativamente baixo, embora tenha aumentado nos últimos 30 anos, reduzindo muito a necessidade de novas áreas pelos ganhos de produtividade. Por outro lado, aumentam-se os riscos associados à contaminação dos corpos d'água e qualidade do solo.

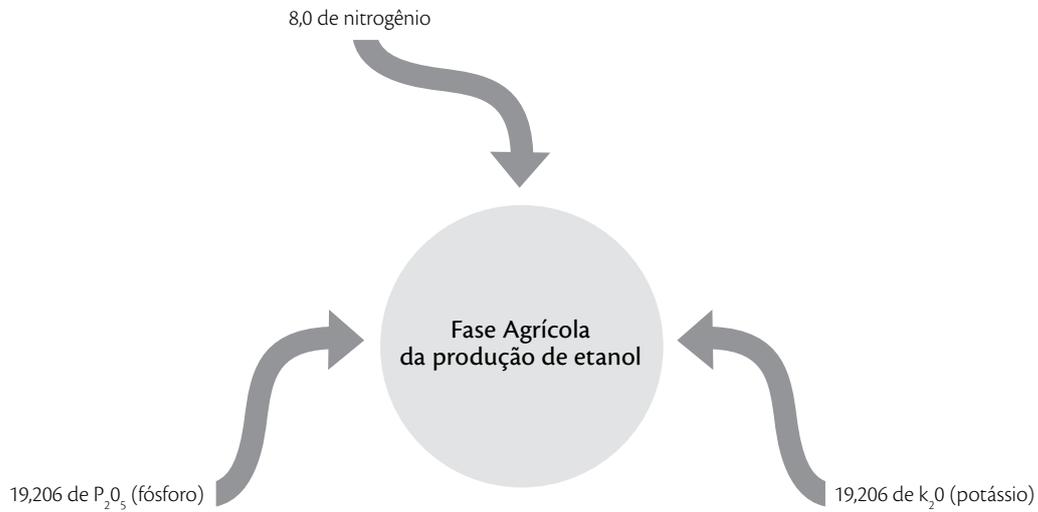
O impacto de fertilizantes na qualidade da água e do solo depende de muitas condições do uso. Há uma grande variação na taxa de aplicação de fertilizantes devido aos diferentes tipos de solo.

Na adubação com nitrogênio, solos mais arenosos, irrigados e com lençol freático raso são mais vulneráveis à contaminação por nitratos. Mas o potencial do nitrogênio para atingir e contaminar a água depende ainda da quantidade usada, da utilização pela planta, do nível de nutrientes no solo e da matéria orgânica e do clima.

É importante destacar que a extração média de nitrogênio pela cultura da cana no Brasil é bem superior à dose aplicada do fertilizante, por exemplo, no primeiro corte (DONZELLI, 2005)⁴.

No caso da cultura da cana no Brasil, uma característica importante é o reciclo integral dos resíduos para o campo, que reduz o uso de fertilizantes. De acordo com Donzelli (2005), quanto à intensidade do uso de fertilizantes, das culturas no Brasil com área acima de 1 milhão de hectares, a cana-de-açúcar ocupa o quarto lugar em uma lista de 10 culturas (Tabela 8.2-4), com 460 kg (de uma fórmula média de N-P₂O₅-K₂O) por hectare. As culturas mais intensivas em fertilizantes por hectare são o algodão herbáceo, café e laranja. Soja, milho, trigo, arroz, feijão e reflorestamento vêm em seguida à cana. A Figura 8-5 apresenta valores médios da aplicação de fertilizantes para a cana-de-açúcar.

⁴ Além do nitrogênio mineralizado dos restos de cultura e da matéria orgânica no solo, uma explicação que tem sido investigada é a fixação por diversas bactérias, na rizosfera e nas raízes. O uso avançado desta possibilidade é objeto de pesquisas.



Obs.: considerando-se 71 t de cana/ha e 88 l de etanol/t de cana

Figura 8-5: Uso de fertilizantes na cana planta (g/m³ etanol)

Fonte: adaptado de Donzelli (2005)

A cana-de-açúcar no Brasil tem um nível baixo de utilização de fertilizantes quando comparada a outros países. Isso não implica redução de produtividade, mas otimização do uso de fertilizantes pela pesquisa agrícola (DONZELLI, 2005).

Tabela 8.2-4: Intensidade de uso de fertilizantes por culturas no Brasil

| Cultura | Área (1.000 ha) ¹ | Consumo (1.000 t) | Consumo/área (t/ha) |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------|
| | 2003 | 2003 | |
| Algodão herbáceo | 1.012 | 950 | 0,94 |
| Café ³ | 2.551 | 1.375 | 0,54 |
| Laranja ³ | 823 | 406 | 0,49 |
| Cana-de-açúcar ³ | 5.592 | 2.600 | 0,46 |
| Soja | 21.069 | 8.428 | 0,40 |
| Milho ² | 13.043 | 4.082 | 0,31 |
| Trigo ³ | 2.489 | 742 | 0,30 |
| Arroz | 3.575 | 872 | 0,24 |
| Feijão ² | 4.223 | 650 | 0,15 |
| Reflorestamento | 1.150 | 129 | 0,11 |

¹ Dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, LSPA, IBGE e CONAB.

² Essas culturas totalizam todas as safras colhidas.

³ Essas culturas têm o plantio e colheita no próprio ano.

Fonte: Donzelli (2005)

Na aplicação de fertilizantes, Macedo et al. (2004) consideraram que a substituição de 30% de fertilizantes por vinhoto e torta de filtro reduz a aplicação de 500 kg/ha (Situação 1) para 400 kg/ha (Situação 2).

Valores médios são listados na Tabela 8.2-5. Nota-se que, no plantio da cana na Situação 2, não há necessidade de aplicação de compostos nitrogenados e reduz-se muito a quantidade necessária de fósforo e potássio.



Tabela 8.2-5: Taxa de aplicação de fertilizantes

| Macro-nutriente | Taxa (kg/ha) | | | |
|-----------------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| | Cana Planta | | Cana Soca | |
| | Situação 1 | Situação 2 | Situação 1 | Situação 2 |
| Nitrogênio – N | 30 | - | 80 | 90 |
| Fósforo – P ₂ O ₅ | 120 | 50 | 25 | - |
| Potássio – K ₂ O | 120 | 80 | 120 | - |

Fonte: Macedo et al. (2004)

8.2.5. A utilização do vinhoto

Há usinas que já aplicam vinhoto em 70% da sua área de cultivo, e há outras com valores bem menores (NETO, 2005). De maneira geral, a cada safra, a área com uso de fertirrigação das usinas aumenta na busca do uso racional da vinhaça, visando maior produtividade agrícola e redução no uso de fertilizantes químicos. Isto tem levado a doses cada vez menores (m³/ha), distanciando-se de valores que poderiam trazer danos (salinização e contaminação do lençol freático).

O uso controlado do vinhoto e da torta de filtro é reconhecidamente uma boa prática na cultura da cana do ponto de vista ambiental e produtivo, pois permite a total reciclagem dos resíduos industriais (vinhoto, torta de filtro e água de lavagem – de limpeza do chão, de purga do circuito fechado e condensados remanescentes), aumento da fertilidade do solo, redução da captação de água para irrigação, redução do uso de fertilizantes químicos e custos decorrentes.

No início do Proálcool, são reconhecidos os impactos causados pelo vinhoto na contaminação das águas e solos quando se descartava diretamente nos cursos de água e de forma descontrolada sobre os solos. Combinando legislação, que reconheceu os problemas ambientais do uso do vinhoto, e maior percepção dos usineiros quanto aos benefícios do uso controlado do vinhoto e da torta de filtro, a fertirrigação controlada passou a fazer parte cada vez maior das práticas agrícolas. Mesmo assim, a fiscalização e o controle sobre a fertirrigação são medidas essenciais para garantir a sustentabilidade ambiental.

Respeitando-se as características dos solos onde é aplicada, a localização das nascentes d'água e os volumes, a vinhaça não provoca efeitos negativos (De SOUZA, 2005). Resultados nos testes até hoje indicam que não há impactos danosos ao solo com doses inferiores a 300 m³/ha. Acima deste valor, pode haver danos ao solo ou, em casos específicos (solos arenosos ou rasos), contaminação das águas subterrâneas.

O vinhoto, além de fornecer água e nutrientes, age como recuperador da fertilidade do solo, inclusive em profundidade. Introduz nutrientes em profundidade como o Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺, enriquecendo os solos. Há muitos experimentos que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola (t de cana/ha).

A lixiviação dos elementos representaria desperdício de adubo e poderia levar a riscos de poluição. No caso da vinhaça os elementos pesados existem, mas em teores muito baixos, e não representam perigo para o meio ambiente. Os macro e microelementos minerais de maior concentração nos lixiviados seriam o K⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻ e Cl⁻, respectivamente. Avaliações dos riscos pelos metais presentes na vinhaça, em cinco anos, concluíram que não se alteraram significativamente as quantidades de NO₃⁻, NH₄⁺ e fósforo solúvel, nem os teores de zinco, cobre, ferro e manganês solúveis. Apenas o SO₄²⁻ apresentou lixiviação até 80 cm (De SOUZA, 2005).

A salinização também pode ser um outro problema para os solos fertirrigados. De acordo com De Souza (2005), usos inferiores a 400 m³/ha não trazem problemas de salinização ao mencionar estudos feitos em três tipos de solos (aluvial, 51% de argila; podzólico vermelho amarelo, 38% de argila; e hidromórfico, 5,5% de argila). Adicionalmente, há concordância entre alguns pesquisadores que doses acima de 400 m³/ha são prejudiciais à cana (redução da qualidade e produtividade).

Recentemente, em São Paulo, a Secretaria do Meio Ambiente e o setor produtivo desenvolveram uma Norma Técnica com o objetivo de regulamentar a aplicação do vinhoto no estado de São Paulo. De acordo com De Souza (2005), "Esta norma técnica busca uma forma segura de aplicação da vinhaça (ou vinhoto), definindo os locais permitidos, as doses, o revestimento de canais mestres e depósitos etc., e considerou os resultados de anos de estudos na busca de processos seguros em relação aos vários aspectos da proteção ambiental. A utilização de forma eficiente da vinhaça é de grande interesse dos produtores, pelo seu retorno econômico; deve-se esperar que as tecnologias continuem a evoluir neste sentido, envolvendo a interação da vinhaça com a palha residual deixada no campo".



8.2.5.1. Problemas identificados

O vinhoto é caracterizado como efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. O seu uso na fertirrigação deve ser controlado para evitar impactos ambientais negativos no solo, nascentes e lençóis freáticos.

O poder poluente do vinhoto, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio –DBO (20.000 a 35.000 mg/l), além de elevada temperatura na saída dos destiladores (de 85 a 90 °C); é considerado altamente nocivo à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem à costa brasileira para procriação (Da SILVA et al., 2007).

Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, o vinhoto é o que possui maior carga poluidora. A quantidade despejada pelas destilarias pode variar de 10 a 18 l de vinhoto por litro de bioetanol produzido, dependendo das condições tecnológicas da destilaria, e sua composição é bastante variável, dependendo principalmente da composição do mosto.

Um dos impactos negativos mais relevantes refere-se ao efeito do ânion sulfato no solo. A presença de sulfato em destilarias de bioetanol de cana-de-açúcar é resultante do emprego de ácido sulfúrico na fermentação. Para o caso de uma destilaria autônoma, utilizam-se aproximadamente 5 kg de ácido sulfúrico (98% de concentração) por m³ de bioetanol produzido, valor que sinaliza que dosagens comparativamente elevadas de sulfato estão sendo aplicadas no solo.

8.2.5.2. Oportunidades a serem exploradas

Existem muitas oportunidades para garantir a prática do uso controlado do vinhoto nos canaviais. Com efeito, há bastante conhecimento com relação às qualidades da vinhaça para a utilização como fertilizante e há muitos anos que existe regulação para um plano de manejo (FERRAZ, 2007). Uma das alternativas é usar a Norma Técnica aprovada pela Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo, que regulamenta sua aplicação. A Norma poderia ser adaptada e utilizada por outros estados, inclusive em nível nacional.

Há ainda oportunidades de otimização da fertirrigação do vinhoto, com o potencial de diminuir a quantidade lançada por ha sem reduzir seus impactos positivos no solo e na produtividade, e re-

duzindo a concentração de íons sulfato. A capacidade de reciclagem dos nutrientes será importante principalmente para o Centro-Oeste brasileiro, contribuindo para a melhoria da fertilidade dos solos.

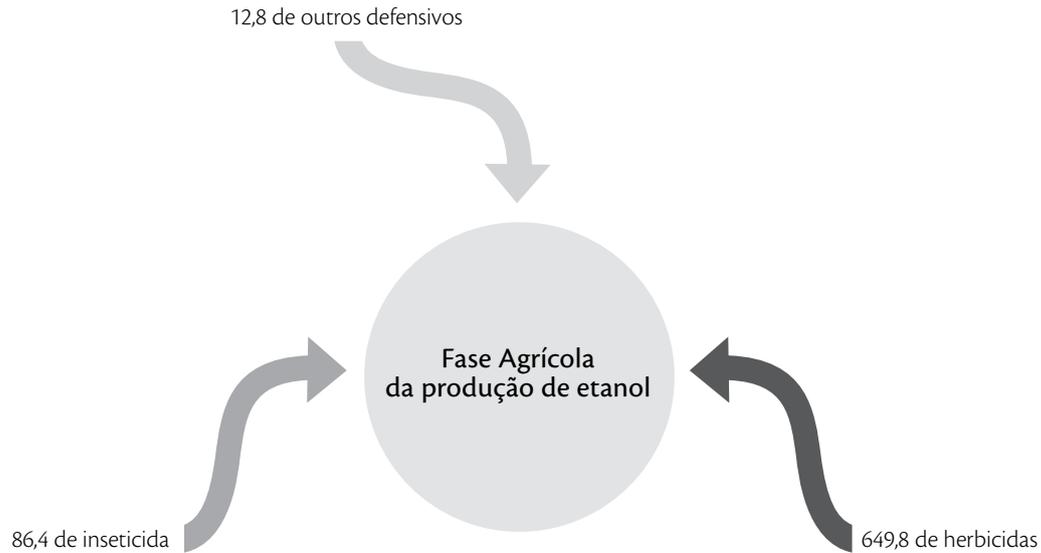
O vinhoto deve ser visto, também, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo. A matéria orgânica pode ser considerada fator importante na produtividade agrícola devido à influência que exerce sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Da SILVA et al., 2007).

Segundo Da Silva et al. (2007), a adição de vinhaça, juntamente com a incorporação de matéria orgânica, como vem sendo praticado de forma crescente na lavoura canavieira, pode melhorar as condições físicas do solo e promover maior mobilização de nutrientes, em função, também, da maior solubilidade proporcionada pelo resíduo líquido.



8.2.6. Uso de pesticidas e herbicidas

O consumo de inseticidas, fungicidas, acaricidas e outros defensivos na cultura da cana-de-açúcar no Brasil é inferior ao das culturas de citros, milho, café e soja. A Figura 8-6 apresenta o balanço do uso de defensivos agrícolas na produção de cana-de-açúcar.



Obs.: considerando-se 71 t de cana/ha e 88 l de etanol/t de cana

Figura 8-6: Uso de defensivos agrícolas (mg/m³ etanol)

Fonte: adaptado de Arrigoni (2005) e Junior (2005)

O consumo de fungicidas é praticamente nulo e o de inseticidas é relativamente baixo (Tabelas 8.2-6 e 8.2-7) (MACEDO, 2005). Tem sido possível reduzir muito o uso de defensivos, com aplicações seletivas.

Tabela 8.2-6: Consumo de fungicidas (1999-2003)

| Item/Ano | Café | Cana-de-açúcar | Citros | Milho | Soja | |
|---------------------------|------|----------------|--------|-------|------|------|
| Produto comercial (kg/ha) | 1999 | 6,98 | 0,00 | 4,54 | 0,02 | 0,34 |
| | 2000 | 5,22 | 0,00 | 4,98 | 0,02 | 0,40 |
| | 2001 | 1,62 | 0,00 | 4,71 | 0,03 | 0,37 |
| | 2002 | 1,32 | 0,00 | 5,02 | 0,03 | 0,42 |
| | 2003 | 1,76 | 0,00 | 5,51 | 0,03 | 0,56 |
| Ingrediente ativo (kg/ha) | 1999 | 1,38 | 0,00 | 2,38 | 0,01 | 0,16 |
| | 2000 | 1,61 | 0,00 | 2,49 | 0,01 | 0,18 |
| | 2001 | 0,75 | 0,00 | 2,89 | 0,01 | 0,16 |
| | 2002 | 0,55 | 0,00 | 3,00 | 0,01 | 0,16 |
| | 2003 | 0,66 | 0,00 | 3,56 | 0,01 | 0,16 |

Fonte: Arrigoni, 2005

Tabela 8.2-7: Consumo de inseticidas (1999-2003)

| Item/Ano | Café | Cana-de-açúcar | Citros | Milho | Soja | |
|---------------------------|------|----------------|--------|-------|------|------|
| Produto comercial (kg/ha) | 1999 | 4,72 | 0,44 | 2,71 | 0,39 | 0,91 |
| | 2000 | 4,47 | 0,41 | 2,32 | 0,51 | 0,99 |
| | 2001 | 2,35 | 0,51 | 2,71 | 0,47 | 1,07 |
| | 2002 | 0,97 | 0,48 | 2,62 | 0,42 | 1,02 |
| | 2003 | 2,22 | 0,54 | 2,43 | 0,53 | 1,03 |
| Ingrediente ativo (kg/ha) | 1999 | 0,91 | 0,06 | 1,06 | 0,12 | 0,39 |
| | 2000 | 0,65 | 0,11 | 0,96 | 0,17 | 0,41 |
| | 2001 | 0,36 | 0,13 | 0,88 | 0,16 | 0,45 |
| | 2002 | 0,14 | 0,14 | 0,66 | 0,14 | 0,43 |
| | 2003 | 0,26 | 0,12 | 0,72 | 0,18 | 0,46 |

Fonte: Arrigoni, 2005



Em culturas de cana-de-açúcar, a utilização de acaricidas é praticamente nula. Na Tabela 8.2-8, apresenta-se o consumo de outros defensivos, usados, em geral, para o tratamento de sementes.

Tabela 8.2-8: Consumo de outros defensivos agrícolas (1999-2003)

| Item/Ano | Café | Cana-de-açúcar | Citros | Milho | Soja | |
|---------------------------|------|----------------|--------|-------|------|------|
| Produto comercial (kg/ha) | 1999 | 0,15 | 0,12 | 0,37 | 0,08 | 0,74 |
| | 2000 | 0,34 | 0,13 | 2,07 | 0,08 | 0,71 |
| | 2001 | 0,64 | 0,09 | 2,88 | 0,08 | 0,65 |
| | 2002 | 0,28 | 0,10 | 3,21 | 0,14 | 0,60 |
| | 2003 | 0,26 | 0,08 | 2,41 | 0,12 | 0,80 |
| Ingrediente ativo (kg/ha) | 1999 | 0,06 | 0,03 | 0,28 | 0,05 | 0,52 |
| | 2000 | 0,15 | 0,04 | 1,83 | 0,04 | 0,45 |
| | 2001 | 0,32 | 0,04 | 2,34 | 0,06 | 0,43 |
| | 2002 | 0,17 | 0,04 | 2,70 | 0,09 | 0,38 |
| | 2003 | 0,14 | 0,04 | 1,97 | 0,09 | 0,51 |

Fonte: Arrigoni, 2005

O consumo de pesticidas na cultura da cana também é inferior aos das lavouras de citros, milho, café e soja. Entre as principais pragas da cana, os controles da broca (praga mais importante) e da cigarrinha são biológicos. A broca tem o maior programa de controle biológico no país. Formigas, besouros e cupins têm controle químico.

Doenças da cana são combatidas com a seleção de variedades resistentes, em grandes programas de melhoramento genético. Modificações genéticas (em fase de testes de campo) produziram plantas resistentes a herbicidas, ao carvão, aos vírus do mosaico (SCMV) e ao do amarelecimento (SCYLV) e à broca da cana.

Os herbicidas são o grupo mais utilizado como produto comercial ou ingrediente ativo. Plantas daninhas levam a grandes perdas na cultura da cana-de-açúcar, com reduções de produtividade variando de 10% a mais de 80% (JUNIOR, 2005). Comparativamente com outras culturas, a cana-de-açúcar, no Brasil, utiliza mais herbicida que o café e milho e um pouco menos que a citricultura, igualando-se à soja. Os valores são apresentados na Tabela 8.2-9.

Há forte tendência para o aumento das áreas com colheita de cana crua, com palha remanescente no solo. Atualmente, não parece ser possível eliminar totalmente os herbicidas nestes casos, como se esperava, inclusive pelo surgimento de pragas até então incomuns.

A intensidade de interferência das plantas daninhas na cana-de-açúcar depende de fatores ligados à cultura (gênero, espécie ou cultivar, espaçamento entre sulcos e densidade de semeadura), à comunidade de plantas daninhas (composição específica, densidade e distribuição) e a fatores ambientais. Os métodos de controle das ervas daninhas têm sido freqüentemente modificados em função de avanços em tecnologias (culturais e mecânicas, ou químicas).

Tabela 8.2-9: Uso de defensivos agrícolas pelas principais culturas comerciais

| Consumo relativo de herbicidas | Ano | Café | Cana-de-açúcar | Citros | Milho | Soja |
|--------------------------------|--------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Produto Comercial (kg/ha) | 1999 | 3,38 | 2,78 | 3,23 | 2,51 | 4,44 |
| | 2000 | 3,10 | 3,91 | 3,28 | 3,21 | 5,24 |
| | 2001 | 3,99 | 5,24 | 5,80 | 2,84 | 4,57 |
| | 2002 | 2,57 | 4,23 | 5,53 | 2,58 | 4,45 |
| | 2003 | 2,42 | 4,14 | 6,69 | 3,31 | 4,92 |
| | Média | 3,09 | 4,06 | 4,90 | 2,89 | 4,73 |
| Ingrediente ativo (kg/ha) | 1999 | 1,84 | 1,52 | 1,75 | 1,21 | 2,01 |
| | 2000 | 1,56 | 2,17 | 1,69 | 1,54 | 2,33 |
| | 2001 | 2,01 | 2,77 | 2,46 | 1,38 | 2,09 |
| | 2002 | 1,35 | 2,22 | 2,63 | 1,24 | 2,05 |
| | 2003 | 1,27 | 2,29 | 3,40 | 1,70 | 2,50 |
| | Média | 1,61 | 2,20 | 2,39 | 1,41 | 2,20 |

Fonte: Arrigoni (2005)



8.2.7. Preservação dos solos agrícolas

De acordo com Donzelli (2005a), a expansão da cultura da cana está ocorrendo com a incorporação de áreas mais pobres (pastagens, na maioria extensivas) e deverá concorrer para a recuperação destes solos, com a adição de fertilizantes, corretivos, mas também de vinhaça, torta de filtro e palha. Isto levará a maiores teores de carbono no solo e menor erosão. Por outro lado, a perda de solo por erosão é um sério problema, dependendo do tipo de cultura, práticas agrícolas, tipo de solo e regime de chuvas.

A cultura da cana no Brasil é reconhecida hoje por apresentar relativamente pequena perda de solo por erosão, comparada com soja e milho, por exemplo (Tabela 8.2-10). Essa situação continua melhorando com o aumento da colheita sem queima, reduzindo as perdas a valores muito baixos, que tendem a ser ainda menores com o emprego crescente de práticas de plantio direto.

Tabela 8.2-10: Perdas de solo e água em culturas anuais e semi-perenes

| Cultura anual | Perdas | |
|----------------|--------------------|-------------------|
| | Solo t/(ha.ano) | Água (% chuva) |
| Mamona | 41,5 | 12,0 |
| Feijão | 38,1 | 11,2 |
| Mandioca | 33,9 | 11,4 |
| Amendoim | 26,7 | 9,2 |
| Arroz | 25,1 | 11,2 |
| Algodão | 24,8 | 9,7 |
| Soja | 20,1 | 6,9 |
| Batatinha | 18,4 | 6,6 |
| Cana-de-açúcar | 12,4 | 4,2 |
| Milho | 12,0 | 5,2 |
| Milho + Feijão | 10,1 | 4,6 |
| Batata-doce | 6,6 | 4,2 |

Fonte: Donzelli (2005a)

Há um aumento dos teores de matéria orgânica (MO) nos solos sob uso com cana-de-açúcar e milho, com relação a pastagens.

O processo erosivo é a maior causa da degradação das terras agrícolas. Nesse aspecto a cana-de-açúcar no Brasil é reconhecidamente uma cultura conservacionista. Alguns autores demonstraram que a perda de solo sob soja é cerca de 62% maior do que quando se utiliza cana-de-açúcar, e com mamona, cerca de 235% maior (DONZELLI, 2005a).

A evolução tecnológica do cultivo da cana-de-açúcar tem permitido em algumas áreas o manejo de colheita sem a queima da palha. O manejo de colheita sem a queima da palha e o preparo reduzido deverão melhorar sensivelmente o nível de conservação de solos. As reduções das perdas de solo e água entre a palha queimada e palha na superfície são de 68% e 69%, respectivamente. (Tabela 8.2-11).

Tabela 8.2-11: Efeito do manejo dos restos culturais sobre as perdas por erosão

| Sistemas de manejo | Perdas | |
|---------------------|--------------------|-------------------|
| | Solo (t/ha.ano) | Água (% chuva) |
| Palha queimada | 41,5 | 12,0 |
| Palha enterrada | 38,1 | 11,2 |
| Palha na superfície | 33,9 | 11,4 |

Fonte: Donzelli (2005a)



8.3. A Análise SWOT

Esse tipo de análise é utilizado frequentemente para informar aos decisores os fatores determinantes ou críticos de uma determinada situação em estudo. Tem como objetivo reduzir incertezas e auxiliar na formulação de estratégias, explicitando os fatores que poderão influenciar o sucesso de um projeto.

É um tipo de análise bastante simples, desenvolvida inicialmente dentro do ambiente corporativo e atualmente usada na formulação de políticas públicas e em estudos de Análise Ambiental Estratégica (v. por exemplo, (DOMINGOS, 2006)).

SWOT é a sigla para quatro grupos de caracterizações que se busca ao analisar um problema ou situação. Ela significa em inglês: *Strength, Weakness, Opportunities e Threats*. A análise SWOT, aplicada ao presente caso de expansão da produção de bioetanol (segundo o cenário “tecnologia progressiva”, exposto no Capítulo 5), agrupa as características que conferem “forças” (S) ou vantagens verificadas com relação a causar menores impactos ambientais, aspectos de fragilidade (W) que podem prejudicar o ambiente em relação à situação atual, as oportunidades (O) que são oferecidas pela expansão da produção segundo as alternativas oferecidas pelo cenário e, finalmente, as possíveis ameaças (T) que podem comprometer o ambiente se essas ações foram implementadas.

É importante destacar que as questões ambientais e sociais não devem ser tratadas separadamente, mas simultaneamente. Os problemas de que trata a ecologia não afetam somente o meio ambiente, mas também o ser humano e vice-versa (GADOTTI, 2000). Ferraz (2007) conceitua que uma *commodity* ambiental, condição pleiteada pelo etanol, “é aquela que trabalha fortemente as questões sociais e ambientais”. A presente análise SWOT analisa somente os impactos ambientais, reconhecendo-se sua restrição por ser necessário sobrepor-se a ela a análise das questões sociais envolvidas.

A Tabela 8.3-1 apresenta um resumo da análise SWOT realizada nesse trabalho. A seguir, a análise será feita para os seguintes fatores ambientais: Impactos na Qualidade do ar, Suprimento e qualidade da água, Ocupação do solo e biodiversidade, Preservação dos solos agrícolas e uso de defensivos agrícolas e fertilizantes.

Tabela 8.3-1: Sumário da análise SWOT

| Forças (<i>Strength</i>) | Fragilidades (<i>Weakness</i>) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nenhuma ou pouca necessidade de irrigação. | Alterações estruturais do solo (perdas de água, nutrientes, solo, salinização e acidez. |
| Reutilização/reciclagem de grande parte da água utilizada. | Alta captação de água |
| Há a legislação de controle e proibição da prática da queima. | Poluição atmosférica (poluentes e fuligens): queimadas e mecanização agrícola |
| Maior preservação do solo em relação a outras culturas. | Falhas de fiscalização (queimadas e vinhoto) |
| Disponibilidade de terras. | Compactação do solo |
| Uso controlado do vinhoto. | Salinização e contaminação dos lençóis e mananciais (vinhoto, fertilizantes e defensivos agrícolas) |
| Menor uso de defensivos/fertilizantes em relação a outras culturas (reciclo integral dos efluentes industriais e pesquisa) | Enxurradas e assoreamento |
| | Fragmentação de habitats e redução da biodiversidade |
| Oportunidades (<i>Opportunities</i>) | Ameaças (<i>Threats</i>) |
| Plantio direto | Efeitos cumulativos do solo e de implementos agrícolas, depleção de recursos hídricos. |
| Uso de ETC's | |
| Agricultura de precisão | Aumento do uso de defensivos agrícolas e de fertilizantes inorgânicos. |
| TI | |
| Corredores de Biodiversidade | Aumento do uso de água. |
| Redução da coleta, uso e lançamento de água | Aumento da demanda por irrigação em áreas com déficit hídrico. |
| Melhoramento genético | |
| Hidrólise enzimática e ácida | Riscos de degradação e queima de áreas de reserva; |
| Concentração térmica e biodigestão do vinhoto | |



8.3.1. Impactos na qualidade do ar

Os impactos na qualidade do ar estão mais fortemente relacionados às queimadas dos canaviais e ao uso de combustíveis fósseis (principalmente diesel) na prática agrícola (preparo da terra, plantio, colheita e transporte) e no escoamento do bioetanol produzido.

8.3.1.1. Força (*Strenght*)

Controle e proibição da prática de queima

Há tempos que existe legislação de controle e de proibição da prática da queima de canaviais brasileiros. No âmbito nacional, o decreto n°. 2.661, de 8 de julho de 1998, estabelece, dentre outras providências, a eliminação gradativa do emprego das queimadas nos canaviais onde a colheita mecanizável é tecnologicamente possível. Prevê a redução de, no mínimo, 25% da área mecanizável (declividade inferior a 12%) a cada período de cinco anos a contar de 1998. Adicionalmente, estabelece que a queima controlada deverá ser previamente autorizada pelo órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), com atuação na área onde se realizará a operação. Portanto, o decreto estabelece que em 2018 haverá o fim das queimadas em 100% das áreas mecanizáveis no país. No estado de São Paulo, há legislação local de controle de queimadas e um prazo estipulado para o fim dessa prática, substituindo-a pela colheita mecanizada (cana crua). A suspensão está prevista na lei estadual 11.241, de 2002, que determina a eliminação gradual da queima de cana em áreas mecanizáveis (com declive de até 12%) até 2021 e nas áreas não-mecanizáveis (com aclave) até 2031. Pelo cronograma, em 2006 a queimada estava vetada em 30% das áreas mecanizáveis. Recentemente, o governo do estado de São Paulo firmou um protocolo com a UNICA para reduzir o prazo de 2021 para 2014 nas áreas mecanizáveis, e de 2031 para 2017 nas áreas não mecanizáveis. O estado de Minas Gerais tem protocolo semelhante; como os dois estados respondem por dois terços da cana produzida no país o impacto positivo será significativo mesmo a nível nacional.

8.3.1.2. Fragilidade (*Weakness*)

Queima da cana

A queimada dos canaviais é um problema ambiental e de saúde pública. A sua prática é antiga e disseminada nos estados produtores, sendo utilizada para aumentar a produtividade do trabalho na

colheita e reduzir custos de transporte. Estima-se que 40% da colheita da cana na safra 2008/2009 tenha sido manual no estado de São Paulo (CTC, 2008), responsável por cerca de 60% da produção nacional (IBGE, 2008), o que obriga a queima prévia do canavial.

A prática da queima da cana-de-açúcar reduz a quantidade de água do solo devido ao calor intenso, altera as características estruturais do solo, o que, conseqüentemente, desencadeia efeitos erosivos, e provoca a ocorrência de enxurradas (perdas de solo, nutrientes e água) devido à redução da cobertura vegetal. Adicionalmente, pode comprometer ou eliminar mananciais por erosão e assoreamento ao destruir as matas ciliares.

Como problemas ambientais, destacam-se também a poluição atmosférica por gases e fuligens, a destruição e a degradação de ecossistemas (ver seção ocupação do solo e biodiversidade) e do solo (ver seção preservação do solo).

A queima da cana-de-açúcar resulta em emissões potencialmente danosas para a saúde humana: CO, CH₄, compostos orgânicos e materiais particulados (“carvãozinho”). Está também relacionada ao aumento das concentrações de ozônio nas cidades próximas às plantações de cana. A poluição urbana causada se agrava ainda mais no período do inverno, em que ocorrem freqüentes inversões térmicas. Existem estudos que afirmam haver relação direta (assim como outros afirmam que essa relação não existe) entre a queima da cana e doenças respiratórias e infecções agudas crônicas (SME-ETS et al., 2006). Estudos do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (SALDIVA & MIRAGLIA, 2004) também afirmam que essa relação existe, atingindo mais crianças e idosos. Porém, não se sabe ainda a magnitude das infecções agudas crônicas no país ocasionadas por particulados de queima de combustíveis ou biomassa, nem qual a importância relativa dos efeitos das queimadas e do clima normalmente frio e seco do período de safra de cana.

8.3.1.3. Oportunidade (*Opportunity*)

Existem oportunidades para reduzir e/ou eliminar por completo a prática das queimadas e reduzir as emissões de gases precursores de efeito estufa provenientes da queima e do escoamento da produção de etanol.



Fiscalização exemplar

Uma das alternativas é aperfeiçoar e fazer cumprir, mediante eficiente fiscalização, a legislação existente que prevê o fim das queimadas. Encurtar o prazo para proibição completa das queimadas em nível nacional é uma alternativa a ser considerada. Outra alternativa seria obrigar as novas usinas a não queimarem os canaviais, enquanto as já existentes cumpriram um período de transição (esta regra já é aplicada no estado de São Paulo). No entanto, não é uma alternativa simples pelos aspectos sociais envolvidos.

8.3.1.4. Ameaça (*Threat*)

Mesmo com a gradativa redução das áreas onde a prática da queima da cana é permitida, há o presente risco de, até a completa proibição da queima, haver a degradação dos remanescentes florestais (mata ciliar, cobertura de mananciais, áreas de preservação) e do impedimento da regeneração natural (perenização da degradação).

Além disso, a prática da queima causa riscos e danos à infra-estrutura (rede elétrica de distribuição e transmissão, rodovias, ferrovias), além das reservas florestais. A queima acidental de reservas florestais ou plantações adjacentes aumenta a emissão de gases poluentes e de gases precursores de efeito estufa.

Outro aspecto de fragilidade a ser mencionado são as falhas atuais existentes na fiscalização e cumprimento da legislação vigente.

8.3.2. Compactação de solos, uso de energia e emissões

A mecanização agrícola trouxe contribuições para a agricultura, como aumento da produtividade, mas também causou problemas meio ambiente, como compactação dos solos (ver item preservação dos solos) e aumento das emissões de poluentes com o uso de combustíveis fósseis (Tabela 8.3-2).

Tabela 8.3-2: Parâmetros de desempenho conforme a introdução de novas práticas e tecnologias

| Item | Atual | 2015 | 2025 |
|----------------------------------------------------------|-------|------|------|
| 1- Uso de ETC's (%) | 0 | 0 | 100 |
| 2- Uso de plantio direto (%) | <5 | 10 | 100 |
| 3- Uso de mapas de produtividade georeferenciados (%) | 0 | 10 | 100 |
| 4- Uso de agricultura de precisão (%) | 0 | 10 | 100 |
| 5- Consumo de diesel no preparo de solo e plantio (l/tc) | 0,35 | 0,32 | 0,04 |
| 6- Consumo de diesel na colheita de cana (l/tc) | 0,90 | 0,80 | 0,38 |
| 7- Consumo de diesel no transporte de 25 km (l/tc) | 0,98 | 0,95 | 0,88 |
| 8- Consumo agrícola de diesel (l/tc) | 3,5 | 2,5 | 1,7 |

Fonte: Capítulo 2 deste livro

8.3.2.1. Fragilidade (*Weakness*)

O processo de mecanização convencional, deslocando equipamentos e veículos sobre solos estruturados, resulta em sua deformação e compactação, o que, por sua vez, demanda novos investimentos, maquinário e combustível para descompactação nas operações posteriores de cultivo de soqueira ou preparo para o plantio. Os períodos de chuva dificultam ainda mais o deslocamento do tráfego e, conseqüentemente, demandam mais combustíveis.

8.3.2.2. Oportunidade (*Opportunity*)

Tecnologia de tráfego controlado

Por outro lado, existe a oportunidade do emprego das estruturas de tráfego controlado (ETC's⁵), que poderiam viabilizar a colheita da cana crua em terrenos com declividade de até 40%, consumindo menos óleo diesel por hectare, resultando em menores emissões de gases precursores de efeito estufa e de gases poluentes e particulados. A Tabela 8.3-2 apresenta o consumo de óleo diesel para

⁵ No Capítulo 2 há uma descrição das estruturas de tráfego controlado (ETC's).



diferentes sistemas de colheita. As ETC's viabilizam a prática do plantio direto, alternativa que vai a favor da preservação dos solos, dos recursos hídricos e redução do uso de implementos agrícolas.

As ETC's são unidades de potência portadoras de implementos, com bitola extralarga, que poderiam atingir valores de 20 a 30 m em 2025, com restrição topográfica da ordem de 40% de inclinação (a restrição é de 12% no caso das colhedoras convencionais de 1 linha). As ETC's utilizam linhas de tráfego permanentes, bem compactadas, com alta eficiência de tração e sem interferência com a área plantada, localizada entre as linhas de tráfego. Para o caso de uma ETC com bitola de 30 m, existe uma área de apenas 4% dedicada ao tráfego e o resto dedicado exclusivamente ao desenvolvimento da planta. A mecanização atual utiliza tráfego intenso em aproximadamente 30% da área, com baixa eficiência de tração e plantas se desenvolvendo em solo fisicamente danificado.

8.3.3. Suprimento e qualidade da água

Não há informações suficientemente detalhadas sobre o nível de poluição da água de rios e bacias em várias regiões, nem sobre qual é a eventual contribuição da cultura de cana e da produção do bioetanol para ela. Mas os principais impactos de uso da água estão mais concentrados na etapa da produção de açúcar e etanol. (SMEETS et al., 2006).

Há também os poluentes advindos da produção de cana e bioetanol que podem contaminar aquíferos (reservas subterrâneas de água doce) e mananciais. Os dois tipos de poluentes mais importantes são os orgânicos (produção de etanol: vinhoto e torta de filtro) e os agroquímicos (cana-de-açúcar: fertilizantes e defensivos agrícolas).

8.3.3.1. Força (*Strenght*)

Relativa baixa demanda por água para cultura de cana

A cultura da cana-de-açúcar no Brasil é principalmente irrigada pela chuva (SMEETS et al., 2006; MACEDO et al., 2005). A pouca ou nenhuma prática de irrigação é de grande importância na redução de impactos ambientais, não só pelo menor uso da água, como também por evitar arraste de nutrientes, resíduos de agrotóxicos, perdas de solo, etc.

A aplicação de vinhoto na lavoura reduz a necessidade de captação de água para irrigação. Adicionalmente, possibilita o menor uso de fertilizantes minerais, reduzindo as chances de contaminação dos aquíferos e mananciais. Grande parte da água utilizada é reutilizada e reciclada (fertirrigação). Conseqüentemente, a captação, consumo e lançamento são menores.

Baixo impacto na qualidade da água

Uma avaliação da EMBRAPA (2003) classifica os impactos das lavouras de cana na qualidade da água no nível 1, isto é, nenhum impacto.

8.3.3.2. Fragilidade (*Weakness*)

No entanto, o uso da irrigação está aumentando. A irrigação da cana-de-açúcar tem sido mais disseminada no Nordeste, região com reconhecido baixo índice pluviométrico e que, provavelmente, necessitará de irrigação para obter ganhos de produtividade. Além do mais, a expansão agrícola da cana para a região Centro-Oeste do Brasil tem levado à exploração de regiões com déficits hídricos mais acentuados.

Grande demanda na fase industrial

A produção industrial é importante consumidora de água do meio ambiente. Apesar da necessidade de maiores estudos, algumas referências apontam valores médios de captação de água variando de 3.000 a 5.000 litros de água/tonelada de cana (FERRAZ, 2007; NETO, 2005). Levantamentos realizados pela UNICA, apesar de divulgados como relatório interno (“reservado”), apontam captação média de 1.830 litros de água/tonelada de cana (NETO, 2005). Há perspectiva do setor de reduzir rapidamente a captação a 1.000 litros/tonelada de cana.

Mas com o emprego da hidrólise enzimática e química, haverá a necessidade de aumento do consumo de água.

Contaminação de aquíferos e lençóis freáticos

A aplicação de vinhoto como fertilizante pode ocasionar a salinização dos lençóis freáticos pela lixiviação desses elementos, como também causar a nitrificação do solo e contaminar as águas dos lençóis freáticos, sendo origem de graves doenças nos seres humanos (VEIGA FILHO, 2007). A regulamentação do seu uso (norma da CETESB, 2005) nas áreas próximas às usinas, e já comprovadamente



saturadas, é demonstração de que embora o vinhoto seja subproduto orgânico e que contém água e nutrientes minerais, seu uso precisa ser controlado.

Contaminação de águas superficiais

As enxurradas podem transportar solo, agrotóxicos e fertilizantes orgânicos e inorgânicos para mananciais próximos, o que pode comprometer a qualidade da água por contaminação e causar assoreamento e até enterramento destes mananciais.

8.3.3.3. Oportunidade (*Opportunity*)

Há diversas alternativas para reduzir os impactos na qualidade e no suprimento d'água, que vão desde a fase agrícola à industrial.

O futuro deve considerar a reconversão dos sistemas de irrigação por superfície, principal método de irrigação utilizado no país, cuja eficiência é muito baixa. No caso de regiões com déficits hídricos, a irrigação pode ser ambientalmente e economicamente viável, principalmente com o uso de métodos mais eficientes: equipamentos de maior facilidade de controle, manejo adequado dos sistemas de irrigação por superfície, sistemas para maior uniformidade de aplicação de água (por aspersão) e irrigação localizada (gotejamento e microaspersão). Por exemplo, irrigação por gotejamento sub-superficial, conforme experimentos conduzidos pelo Centro de Tecnologia Canavieira na região de Ribeirão Preto, que mostraram a sua viabilidade econômica.

Umidade e compactação do solo são fatores fortemente ligados à longevidade do canavial. As tecnologias de controle de tráfego e plantio direto atacam especificamente os referidos parâmetros de produção, ao proporcionarem maior umidade do solo, melhor aproveitamento da água da chuva (água armazenada e conservada no solo), menor compactação dos solos e redução da ocorrência, portanto, de enxurradas (perdas de solo, nutrientes e água), menor uso de herbicidas e fertilizantes.

O uso controlado de vinhoto (fertirrigação) reduz o uso de fertilizantes inorgânicos na lavoura, reduzindo os riscos de contaminação dos aquíferos. Adicionalmente, a concentração térmica do vinhoto pode reduzir a captação de água com a utilização do condensado. A retomada do desenvolvimento da biodigestão do vinhoto é uma alternativa para reduzir a carga de matéria orgânica, a elevação do pH e remoção do sulfato do vinhoto.

Há também o desenvolvimento de novas variedades de cana com maior resistência ao stress hídrico, havendo menor necessidade de irrigação em regiões com déficits hídricos mais pronunciados.

Também se deve considerar a redução da captação, uso e lançamento d'água destinada ao processo industrial. Como mencionado no item 8.2.1, cerca de 87% dos usos da água ocorrem em quatro processos somente; é possível usar técnicas que reduzam sensivelmente esses usos.

8.3.3.4. Ameaça (*Threat*)

A expansão da produção de bioetanol poderá, se alternativas e soluções não forem implantadas, provocar:

- 1 O aumento do uso de herbicidas, pesticidas e adubos minerais, podendo acarretar a contaminação dos aquíferos;
- 2 O aumento da demanda por irrigação em áreas com déficit hídrico;
- 3 Aumento da disposição descontrolada de vinhoto nos solos e próximos a corpos d'água.

8.3.4. Ocupação do solo e biodiversidade

8.3.4.1. Força (*Strenght*)

No Capítulo 4, mostrou-se que há disponibilidade de terras para atender a produção de 205 bilhões de litros de bioetanol para exportação em 2025, sem entrar nos biomas sensíveis como Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica. Os cenários do estudo consideraram o estabelecimento de reservas ambientais em 20% da área plantada e considerou que não se utiliza áreas de reservas florestais, indígenas, parques etc., para a expansão da produção de cana-de-açúcar. Outro aspecto a ser mencionado é que o cultivo da cana proporciona a recuperação do solo, em comparação com a plantação de outras culturas.

O cenário de produção de bioetanol para o ano de 2025, ao prever aumento da produtividade de cana e bioetanol para a situação de "tecnologia progressiva", reduz a área necessária requerida. Isso reduziria possíveis deslocamentos de culturas e pastagens e efeitos sobre a biodiversidade.



O aumento da produtividade dever-se-á às maiores eficiências energéticas no aproveitamento do bagaço para o processo industrial e maior proporção de recolhimento da palha na colheita, que atingiria 50%.

Para a situação de “tecnologia progressiva”, prevê-se um rendimento na produção de bioetanol de 92,6 l/tc e 102,1 l/tc em 2015 e 2025, respectivamente, um aumento de 9% e 20% comparado ao cenário sem tecnologia (85 l/tc) e à situação atual.

Esses ganhos de produtividade significariam uma redução de 8% e 17% na área de produção de cana-de-açúcar em 2015 e 2025, respectivamente. E uma redução de 17% e 23% no número de destilarias necessárias em 2015 e 2025, comparado ao cenário sem tecnologia.

8.3.4.2. Fragilidade (*Weakness*)

A prática da queima da cana-de-açúcar causa danos à biodiversidade e ecossistemas, com evidente redução de populações de espécies de vertebrados e insetos pela eliminação de habitats ou mortes pelo fogo e da cobertura vegetal. As reservas ambientais, matas ciliares e cobertura de mananciais também são ameaçadas pelo avanço da cultura e/ou prática de queimadas.

A diversificação de habitats terrestres e úmidos está frequentemente associada a uma fragmentação⁶ de habitats, que conduz a profundas alterações no balanço entre espécies de interior e espécies de orla, e pode provocar o isolamento genético de populações para além de mortalidade faunística associada a movimentos de dispersão.

Os estudiosos da produção de açúcar e bioetanol frisam que a expansão da cana-de-açúcar está ocorrendo majoritariamente sobre áreas degradadas e de pastagens. Por outro lado, de acordo com organizações ambientais, os deslocamentos da pecuária e de culturas menos rentáveis podem ocorrer sobre áreas de florestas nativas e de cerrado de modo indireto. Todavia, ainda não existe uma metodologia confiável para correlacionar esses deslocamentos. Mas esses eventuais impactos indiretos não devem ser menosprezados e precisam ser investigados nos estudos de ocupação do solo e impactos na biodiversidade.

⁶ Fragmentação é todo processo de origem antrópica (humana) que provoca a divisão de ecossistemas naturais contínuos em partes menores, freqüentemente desconectadas de outras áreas semelhantes, o que gera isolamento das espécies e conseqüentemente facilita sua extinção.

No estudo de terras disponíveis apresentado no Capítulo 4, não foram descontadas as áreas de pastagens que, devido a sua baixíssima produtividade, constituem de fato uma reserva para expansão das atividades agrícolas.

8.3.4.3. Oportunidade (*Opportunity*)

Criação de corredores de biodiversidade⁷ nas plantações de cana.

Estímulo à produção de bioetanol pelo sistema orgânico⁸ que, dentre outras boas práticas, realiza a colheita crua da cana e observa as áreas de reserva legal.

Na atualidade há um debate sobre qual a melhor alternativa para manter áreas de preservação ambiental: se é a lei atual, que estabelece o mínimo de 20% da área de cada propriedade rural para reservas naturais, ou se cada estado deve definir uma área de reserva compatível com sua realidade e necessidade.

8.3.4.4. Ameaça (*Threat*)

Caso o aumento da produção de cana-de-açúcar ocorra pelo sistema convencional, é bem provável que haja redução da biodiversidade nas extensas áreas de plantio, conforme indica levantamento realizado pela Embrapa Monitoramento por Satélite em propriedades da região de Ribeirão Preto. Num plantio convencional de cana, não se contam mais do que 30 espécies, ao passo que em propriedades que utilizam o sistema orgânico de produção foram identificadas 248 espécies (EMBRAPA, 2005).

7 O Corredor de Biodiversidade é uma área estrategicamente destinada à conservação ambiental na escala regional. Ele compreende uma rede de áreas protegidas, entremeada por áreas com variáveis graus de ocupação humana. O manejo é integrado para ampliar a possibilidade de sobrevivência de todas as espécies, a manutenção de processos ecológicos e evolutivos e o desenvolvimento de uma economia regional baseada no uso sustentável dos recursos naturais. Em áreas de alta fragmentação florestal, os Corredores de Biodiversidade também têm por objetivo a recuperação e conexão dos fragmentos de florestas. Assim, espera-se vencer o isolamento das áreas protegidas e ampliar a conectividade dos ambientes nativos, permitindo o trânsito das espécies de flora e fauna entre os remanescentes.

8 A Embrapa Monitoramento por Satélite fez um trabalho sobre a biodiversidade faunística em propriedades rurais de cana-de-açúcar em Ribeirão Preto (SP) que trocaram o sistema convencional de produção pelo sistema orgânico. Foram identificadas através de levantamentos, realizados entre 2002 e 2003, 248 espécies, comprovando o aumento da biodiversidade - num plantio convencional de cana não se contam mais do que 30 espécies.



Por outro lado, com o uso da produção orgânica, poderá haver o risco de um aumento das pragas e plantas daninhas, com possíveis impactos na produção e no equilíbrio ecológico local.

Há também o risco de degradação e queima de áreas de reserva, eventos recorrentes, mas pouco difundidos na mídia. Como exemplo, tem-se a Estação Ecológica de São Carlos, Unidade de Conservação localizada no Município de Brotas - SP, com um histórico de danos diretos e indiretos provocados pelas queimadas realizadas nos canaviais que se estendem até seus limites (FERREIRA, 2007).

Alguns autores afirmam que em termos locais poderá haver pressão sobre a oferta e sobre os custos de produção de alimentos, como consequência da reconhecida crescente concentração de terras nas novas áreas de expansão, como na região oeste do estado de São Paulo, sob a forma de arrendamento e compras de terras (VEIGA FILHO, 2007). Uma possível consequência é o rompimento do tecido social e produtivo, com as atividades de menor expressão em nível de macrorregião, mas importantes em nível local, sendo desarticuladas. Por exemplo, pequenas associações produtivas, longamente construídas, e que solidificaram relações sócioeconômicas locais com características de sustentabilidade, podem ser rompidas pelo impacto da expansão da cana.

8.3.5. Preservação dos solos agrícolas

8.3.5.1. Força (*Strenght*)

As perdas de solo são menores com cana comparada a muitas outras culturas. Só milho, feijão e batata-doce apresentam perdas menores ou iguais à cana.

A evolução tecnológica do cultivo da cana-de-açúcar tem permitido em algumas áreas o manejo de colheita sem a queima da palha. O manejo de colheita sem a queima da palha e o preparo reduzido deverá melhorar sensivelmente o nível de conservação de solos.

O uso controlado de vinhoto (fertirrigação) como fertilizante orgânico reduz a necessidade de aplicação de adubos químicos, reciclando nutrientes e efluentes da produção de etanol. A Norma Técnica P4.231/2005 da CETESB⁹, órgão ligado à Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, regulamenta todos os aspectos relevantes: áreas de risco (proibição), dosagens permitidas e tecnologias.

⁹ Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (www.cetesb.sp.gov.br/).

Análises sobre os efeitos do vinhoto nas propriedades do solo indicam que sua adição in natura aos solos é uma boa opção para o aproveitamento deste subproduto, por ser um excelente fertilizante e trazer vários benefícios para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. As vantagens da sua utilização são a elevação do pH, aumento da capacidade de troca catiônica, da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo, aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo.

A cultura da cana pode regenerar áreas degradadas, desde que observadas as boas práticas de produção do ponto de vista ambiental.

8.3.5.2. Fragilidade (*Weakness*)

A prática da queima da cana-de-açúcar traz consequências danosas para as características físicas e estrutura do solo, como:

- a alteração da concentração de gases na atmosfera;
- a diminuição da fertilidade e umidade do solo;
- a perda de nutrientes voláteis; e
- a exposição do terreno aos efeitos erosivos.

Conforme mencionado anteriormente, a mecanização agrícola trouxe contribuições positivas e algumas negativas, como a compactação do solo resultante do tráfego, que prejudica a sustentabilidade da agricultura canavieira em termos de custo de produção e conservação do solo. Com a modernização da agricultura, o peso dos equipamentos e a intensidade de uso do solo aumentaram drasticamente, com alteração de suas propriedades físicas, tais como aumento da densidade e da resistência à penetração.

A aplicação do vinhoto como fertilizante é muito comum, e praticamente todo vinhoto é reciclado. Um dos impactos negativos mais relevantes refere-se ao efeito do ânion sulfato no solo. A presença de sulfato em destilarias de bioetanol de cana-de-açúcar é resultante do emprego de ácido sulfúrico na fermentação.

Grande número de estudos relacionados com a lixiviação e possibilidades de contaminação de águas subterrâneas pela reciclagem do vinhoto indicam que pode haver impactos danosos para aplicações superiores a 300 m³/ha/ano. De acordo com Macedo (2005), produz-se de 10 a 15 litros de vinhoto



por litro de etanol, dependendo de características da cana e seu processamento; considerando a produtividade média atual de 6.000 litros de bioetanol por hectare, haveria uma produção de vinhoto de 60 m³/ha/ano a 90 m³/ha/ano, volumes bem inferiores ao limite de 300 m³.

8.3.5.3. Oportunidade (*Opportunity*)

O conceito de tráfego controlado (descrito no Capítulo 2), dentre outras funções que exerce, visa solucionar o problema da compactação dos solos. Uma análise bastante simples desse ciclo vicioso de energias gastas em sucessivas operações de compactação e descompactação leva ao conceito de tráfego controlado; este consiste na separação das áreas usadas para o desenvolvimento das plantas daquelas usadas para o tráfego dos equipamentos.

Outra oportunidade refere-se ao desenvolvimento tecnológico para a remoção biológica do sulfato por meio de biodigestão anaeróbica. O sulfato removido pode ser reciclado e utilizado na produção de ácido sulfúrico.

8.3.6. Uso de defensivos agrícolas e fertilizantes

8.3.6.1. Força (*Strenght*)

O consumo de inseticidas, fungicidas, acaricidas e outros defensivos na cultura da cana-de-açúcar no Brasil é inferior ao das culturas de citros, milho, café e soja.

Uso controlado de vinhoto (fertirrigação) reduz o uso de fertilizantes inorgânicos na lavoura.

8.3.6.2. Fragilidade (*Weakness*)

O uso de herbicidas, pesticidas e adubos minerais podem acarretar a contaminação dos aquíferos, que são reservas subterrâneas de água doce.

Como mencionado no item 8.2.5.1, o vinhoto é o efluente líquido da indústria sucroalcooleira com maior carga poluidora, sendo altamente nocivo à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces (Da SILVA et al., 2007).

Outro aspecto refere-se às plantas daninhas, que pode gerar grandes perdas na cultura da cana-de-açúcar, com quedas de produtividade variando de 10% a mais de 80% (JUNIOR, 2005), como apontado no item 8.2.6.

8.3.6.3. Oportunidade (*Opportunity*)

A prática do plantio direto e o uso de ETC's permitiriam a redução do uso de defensivos agrícolas e fertilizantes inorgânicos.

O maior uso e estudo de controles biológicos de pragas e ervas daninhas, assim como novas variedades resistentes a elas também reduziriam a necessidade de defensivos agrícolas.

A agricultura de precisão é uma outra prática que facilita o processo de gestão ambiental, evitando o desperdício de insumos.

8.3.6.4. Ameaça (*Threat*)

A expansão da produção de bioetanol poderá, se alternativas e soluções não forem aplicadas, provocar o aumento do uso de herbicidas, pesticidas e adubos minerais.

O interesse em novas tecnologias baseadas no uso de modificações genéticas nas plantas para adicionar resistência a pragas ou características de pesticidas é cada vez maior. No entanto, há também o potencial para problemas como a difusão de genes, impactos adversos em organismos não visados e a possibilidade de contaminação de alimentos, entre outros.



8.4. Considerações finais

De um modo geral, a análise SWOT apresenta resultados principalmente qualitativos. Porém ela é muito eficaz para identificar pontos e características mais importantes, em toda cadeia produtiva do etanol, pela frequência com que eles aparecem nas várias áreas analisadas, tanto nos aspectos positivos quanto negativos. Por exemplo, na análise apresentada acima fica evidente a importância das queimadas de canaviais, aplicação da vinhaça e mecanização agrícola e, portanto, indica uma priorização para estudos e desenvolvimentos mais detalhados nestas áreas. Em suma, essa metodologia é uma boa opção para se iniciar um estudo sério sobre sustentabilidade na cadeia produtiva do etanol, ou de outros biocombustíveis.

Referências Bibliográficas

- ARRIGONI, E. DE B. Defensivos (pesticidas e outros). Capítulo 8: Uso de defensivos agrícolas. In Macedo (2005), A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC (2008) <http://www.ctc.com.br/>
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Cetesb, <http://www.cetesb.sp.gov.br/>
- DA SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.1, p.108–114, 2007.
- DE SOUZA, S. A. V. Vinhaça: o avanço das tecnologias de uso. Capítulo 9. In Macedo (2005), A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- DELZEIT, R., HOLM-MÜLLER, K., & BOHLE, H.-G. Steps to discern sustainability standards for a certification scheme of bioethanol in Brazil: approach and difficulties. Alemanha: Relatório, University of Bonn, 2007.
- DONZELLI, J. L. Preservação dos solos agrícolas. Capítulo 7. In Macedo (2005), A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005a.
- DONZELLI, J. L. Uso de fertilizantes na produção de cana-de-açúcar no Brasil. Capítulo 9. In Macedo, I.C.; A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- EMBRAPA. Monitoramento registra aumento da biodiversidade em sistemas de produção orgânicos. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2005/folder.2005-08-15.5931044316/foldernoticia.2005-08-15.6761991895/noticia.2005-09-09.9717211999/mostra_noticia. Acessado em 15/05/2007.
- FERRAZ, J. M. G. Workshop de Pesquisa sobre Sustentabilidade do Etanol: diretrizes de políticas públicas para a agroindústria do Estado de São Paulo. Painel 4: Gestão Ambiental (palestrante). FAPESP: Instituto de Economia Agrícola, 14 de junho de 2007.
- FERREIRA, M. E. T. A queimada de cana e seu impacto sócioambiental. Adital: Notícias da América Latina e Caribe. Artigo publicado em 07/03/2007. Acessado em 25/06/2007. <http://www.adital.com.br/site/noticia.asp?lang=PT&cod=26600>



- GADOTTI, M. *Pedagogia da Terra*. São Paulo: Peirópolis, 2000. Série Brasil Cidadão, 224p. 2ª Edição.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2008). <www.ibge.gov.br>
- JUNIOR, A. R. Defensivos: herbicidas. Capítulo 8: Uso de defensivos agrícolas. In Macedo (2005), A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade.. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- LEWANDOWSKI, I., & FAAJI, A. Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. Utrecht University: Report NWS-E-2004-31, 2004.
- MACEDO, I. Uso de defensivos agrícolas. Capítulo 8. In Macedo (2005), A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- meó CONSULTING TEAM. Certification of biomass & biomass conversion to biofuels (energy). Apresentação. UNICAMP Fev. 2007: Project on behalf of the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection / Agency for Renewable Resources, 2007.
- NETO, A. E. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. Capítulo 5: Impactos no suprimento de água. In Macedo, I.C.; A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, UNICA, 2005.
- OMANN, I. How can Multi-criteria Decision Analysis contribute to environmental policy making? A case study on macro-sustainability in Germany. Third International Conference of the European Society for Ecological Economics. Vienna, Áustria, 2000.
- SALDIVA, P. H. N. ; MIRAGLIA, S. G. E. K. . Health effects of cookstove emissions. *Energy for Sustainable Development*, Bangalore, India, v. VIII, n. 3, p. 13-19, 2004.
- SMEETS, E., JUNGINGER, M., FAAIJ, A., WALTER, A., & DOLZAN, P. Sustainability of Brazilian bio-ethanol. Universiteit Utrecht : Report NWS-E-2006-xx, 2006.
- VEIGA FILHO, A. de A. Novo ciclo do Proálcool: problemas derivados do aumento da produção do etanol. Dossiê Etanol, n. 86. *ComCiência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*, 2007. Disponível: <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&tipo=dossie&edicao=23>
- WORLD COMMISSION FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press,1987.

The background of the page is a photograph of a cornfield, with the leaves and stalks of the corn plants visible. Overlaid on this image is a semi-transparent network diagram consisting of several circular nodes connected by thin lines, suggesting a digital or technological theme. The overall color palette is dominated by various shades of green.

Marco regulatório



9. Marco regulatório

A necessidade de inclusão de um capítulo específico sobre o tema marco regulatório baseia-se no fato de que, embora se note uma retomada da pesquisa tecnológica e uma concomitante forte expansão das plantas de produção, o setor sucroalcooleiro apresenta-se altamente desregulamentado desde o ano de 2002, num processo iniciado com o advento da promulgação e vigência da Constituição Federal de 1988.

Nesse contexto, a perspectiva do país se consolidar como o principal *player* na produção e fornecimento de bioetanol para o mercado internacional poderia ser limitada ou até mesmo restringida por aspectos envolvendo a segurança de abastecimento interno, a existência ou não de estoques reguladores, a sustentabilidade da produção de etanol, aspectos tributários relevantes, etc.

De fato, um aumento expressivo das exportações poderia ocasionar um desabastecimento interno de etanol, num momento em que o setor sucroalcooleiro recupera sua credibilidade perante os consumidores nacionais, e o mundo volta suas atenções para a produção e uso de bioetanol de cana-de-açúcar em substituição à gasolina, tanto por seu balanço energético favorável quanto pelos custos reduzidos comparativamente ao milho ou à beterraba, por exemplo.

O presente capítulo baseia-se num trabalho realizado em quatro fases distintas. A primeira consistiu na análise do quadro normativo existente no país para o setor sucroalcooleiro desde o início do século XX. Essa análise permitiu a identificação de lacunas e dispositivos legais pertinentes aos temas estudados, e que foram considerados problemáticos para a expansão do setor. Na segunda fase estudaram-se tratados e acordos internacionais relevantes e possíveis obstáculos às exportações do bioetanol brasileiro no mercado internacional. Foram examinadas iniciativas na União Europeia, Estados Unidos da América, Caribe e países da África Subsaariana. Nessa fase também foram identificadas políticas de incentivo e adoção do uso de biocombustíveis adicionado à gasolina em países ou grupos de países considerados chaves para a consolidação do bioetanol como uma *commodity* mundial.

Reconhecidos os gargalos legais existentes e o potencial associado à exportação de etanol, procedeu-se à elaboração e aplicação de um questionário abordando os temas e gargalos identificados, a seguir enumerados: necessidade de intervenção estatal ocasionada pela possibilidade de desabastecimento interno de bioetanol combustível em detrimento do aumento dos volumes exportados; existência de estoques reguladores e seu tipo mais adequado; criação de um sistema de certificação sócioambiental para o

setor; especificação e padronização da qualidade do etanol; tributação e sonegação fiscal; e mecanismos de incentivo para a modernização dos sistemas de cogeração existentes nas usinas.

As diretrizes propostas para a elaboração de um possível marco regulatório atualizado para o setor sucroalcooleiro são descritas no final deste capítulo, após serem apresentados, brevemente, o histórico da legislação pertinente e o panorama internacional observado.

A análise do histórico do setor sucroalcooleiro demonstra a existência de forte intervenção estatal sobre a produção de açúcar e bioetanol desde o início do século XX. Essa intervenção tornou-se mais branda no final do século, principalmente com a diminuição da utilização do álcool etílico hidratado carburante (AEHC) a partir do ano de 1990, que perdurou até o ano de 2002.

O término da intervenção estatal, ou seja, a uma desregulamentação do setor, veio de encontro ao disposto no art. 174 da Constituição Federal de 1988, vez que este dispositivo legal estabeleceu o *modus operandi* da fiscalização, incentivo e planejamento para o setor privado pelo Estado de modo indicativo e não mais determinante como nos tempos da existência do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e do Programa Nacional do Alcool (Proálcool). No entanto, foi mantida a obrigatoriedade de mescla de até 25% de álcool etílico anidro carburante (AEAC) em toda a gasolina em venda no país.

A desregulamentação trouxe consigo a liberdade do setor em gerir suas contratações e volumes negociados de bioetanol em ambos os mercados doméstico e internacional e, também, o temor de que o país possa estar sujeito à nova crise de desabastecimento, uma vez que se permitiu aos produtores destinar suas produções ao atendimento dos mercados economicamente mais viáveis e atrativos dentre os existentes.

É neste contexto de incremento dos volumes exportados, expansão da área cultivada com cana-de-açúcar e expansão das unidades produtoras que o exame da conveniência da existência de um marco regulatório para o setor sucroalcooleiro se faz presente. Com efeito, a produção nos padrões observados no passado não condiz com a realidade e com o futuro da humanidade, fundamentados em princípios ambientais mais restritivos e sob a égide do desenvolvimento sustentável inicialmente proposto pelo Relatório Nosso Futuro Comum em 1987 e presente no art. 225 da Carta Constitucional Brasileira.



9.1. Breve histórico da agroindústria sucroalcooleira no Brasil

Nos capítulos anteriores, foram apresentados e discutidos aspectos de natureza técnica, econômica e social a respeito da viabilidade do Brasil produzir e exportar 205 bilhões de litros de bioetanol em 2025, volume projetado como correspondente a 10% do consumo mundial equivalente de gasolina naquele ano.

No entanto, até o presente momento, não haviam sido inseridas preocupações concernentes aos aspectos legais e temáticas relevantes envolvendo a questão regulatória da produção com o intuito de garantir o abastecimento doméstico e assegurar a viabilidade das exportações para abastecimento do mercado internacional, objeto principal do estudo realizado.

Assim sendo, procedeu-se ao levantamento do quadro normativo do setor sucroalcooleiro de modo a verificar lacunas e eventuais inobservâncias jurídicas existentes, particularmente nos mais de 30 anos de existência do Proálcool. O histórico levantado demonstra claramente a ocorrência de forte intervenção estatal iniciada na década de 1930, que se traduziu na criação do IAA em 1933.

Esse instituto restringia a produção e uso automotivo do bioetanol a quotas pré-estabelecidas e também se constituía no órgão responsável pela aprovação da construção de destilarias anexas e incremento da produção, principalmente de açúcar.

A análise do histórico legal do setor sucroalcooleiro permitiu perceber que, embora o bioetanol desempenha papel estratégico na economia brasileira, tanto por ser um combustível renovável quanto por permitir a redução das importações de combustíveis fósseis, o mesmo foi adotado no país como um remédio para tratar a crise açucareira.

Dessa forma, o Estado, por meio da edição do Decreto-Lei nº 737 em 1938, determinou a possibilidade de mistura de álcool anidro à gasolina, quando conveniente e em proporção fixada pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP) e pelo IAA.

O referido Decreto fundamentava a adição do álcool anidro à gasolina “à imperiosa necessidade de proteger e desenvolver a indústria de fabricação do álcool anidro, não só para debelar as crises de superprodução da indústria açucareira, restabelecendo o equilíbrio entre a produção e o consumo, mas, igualmente, para diminuir a importação de carburante estrangeiro”.

Nessa época, a produção de bioetanol ainda não se concentrava na região Centro-Sul, mas sim na Norte-Nordeste. A concentração na região Centro-Sul foi ocasionada pelas alterações introduzidas no setor pelo Estatuto da Lavoura Canavieira em 1941. Esse estatuto regulamentava as relações entre as usinas e os fornecedores de cana-de-açúcar, e entre esses e os trabalhadores canavieiros.

Com efeito, o estatuto regulava a fixação e a distribuição das quotas de produção a serem aferidas pelo IAA, condicionava a montagem de novas usinas à permissão pelo IAA e a forma de organização delas, no que tange ao regime de separação entre atividades agrícola e industrial.

Porém, restringia a aquisição de terras pelos usineiros paulistas, fato que acabou por obrigá-los a investir a maior parte de seus recursos na atividade industrial, tanto para elevar o número de unidades produtivas ou modernizar as usinas existentes, acarretando a expansão da produção de açúcar no estado de São Paulo.

Importante ressaltar que, apesar da existência de dispositivo legal prevendo a adição de álcool anidro à gasolina consumida internamente à época, essa ainda não era obrigatória. A obrigatoriedade somente passou a vigor no país no ano de 1941, quando o governo federal passou a fixar o teor de álcool anidro a compor a gasolina.

Dando sequência à inserção do bioetanol na matriz energética nacional, no ano de 1942, por meio da promulgação e vigência do Decreto-lei nº 4.722, declarou-se a indústria alcooleira como de interesse nacional, estabelecendo-se garantias de preço para o bioetanol e para a matéria-prima destinada à sua fabricação.

Nos anos que se seguiram, principalmente durante a 2ª Guerra Mundial, a produção de bioetanol foi fortemente afetada devido à escassez dos derivados de petróleo, principalmente a gasolina, que era praticamente toda importada. A produção de álcool anidro passou a ser considerada ainda mais estratégica dentro da economia nacional.

Essa situação ocasionou a instalação de usinas mais modernas e, conseqüentemente, o aumento da produção de açúcar, e de modernização de usinas existentes na região Centro-Sul no quinquênio compreendido entre os anos 1945 e 1950. O aumento considerável do número de usinas instaladas também havia sido fortemente ocasionado pelos perigos associados ao transporte marítimo de açúcar do Nordeste à região Centro-Sul.

Passado o período de guerra, entre os anos de 1950 e 1960, houve o deslocamento da produção da



cana-de-açúcar da região Nordeste para a região Centro-Sul, que acabou por consolidar-se como a principal produtora nacional.

Todavia, o setor sucroalcooleiro ainda era objeto da edição de vários dispositivos legais, como por exemplo, o Decreto-lei nº 9.827 de 10 de setembro de 1946, que dispunha sobre a expansão da produção de açúcar, permitindo ao IAA revisar amplamente as quotas de produção de açúcar de usinas fixadas para cada um dos estados ou territórios.

Após a promulgação e vigência de referido Decreto, a elevação dos limites estaduais de produção passou a ser condicionada às necessidades de consumo regionais e não mais nacionais, ou seja, as quotas passaram a ser distribuídas em função dos déficits existentes entre a produção e o consumo de cada estado, estimulando o crescimento das usinas instaladas no Estado de São Paulo que apresentava produção inferior ao consumo.

Dessa forma, colocou-se em pleno funcionamento a capacidade instalada no estado de São Paulo, que culminou na transferência vultosa e irreversível da distribuição espacial da produção canieira do país. Porém, a produção de bioetanol ainda era extremamente vinculada à produção de açúcar.

Essa situação foi modificada, em parte, com a vigência do Decreto nº 25.174-A de 03 de julho de 1948, no governo de Eurico Gaspar Dutra, quando se adotaram medidas legais de estímulo à produção nacional de álcool anidro para fins carburantes e para a expansão da utilização do bioetanol motor no país.

Contudo, a legislação do álcool permaneceu subjugada pela do açúcar até o final da década de 1960, só passando a ter importância a partir dos anos 1970, principalmente a partir de 1975, com a criação do Proálcool.

O Proálcool foi instituído pelo Decreto nº 76.593 de 14 de novembro de 1975, com a finalidade de expandir a produção do álcool etílico anidro, viabilizando seu uso como matéria-prima para a indústria química e como combustível adicionado à gasolina.

Por meio desse programa, o país poderia substituir parte do combustível derivado do petróleo e, além disso, socorreria o setor sucroalcooleiro, deslocando parte da produção de açúcar para a produção de bioetanol utilizando parte da capacidade produtiva ociosa das usinas e destilarias anexas, vez que os preços do açúcar encontravam-se em queda face aos evidentes sinais de saturação do mercado internacional.

Os anos que se seguiram à implantação do Proálcool podem ser resumidos em cinco fases, a seguir dispostas:

- 1ª fase – 1975/1978: uso da mistura de 20% (E20), implantação de destilarias anexas e envolvimento da indústria automobilística para a produção de carros a etanol.
- 2ª fase – 1979/1985: produção de carros movidos a álcool hidratado, ou dedicados exclusivamente a esse combustível.

Pode-se dizer que nesta década surgiram os primeiros problemas relacionados à distribuição e estocagem do etanol, pois nem o CNP, nem o IAA e nem os usineiros assumiram a responsabilidade de armazenar e distribuir o etanol. Esse fato é de extrema importância para a compreensão deste capítulo, vez que permite o estabelecimento de um lapso temporal superior a 20 anos no que diz respeito à existência de problemas relacionados à estocagem desse combustível no país.

Nesse contexto, o governo federal, por meio do Decreto 88.626 de 16 de agosto de 1983, editou o 1º dispositivo legal sobre armazenamento do bioetanol combustível no país, prevendo a obrigatoriedade de existência física de estoques de segurança para o carburante, correspondentes aos volumes mínimos de consumo de um mês para o álcool anidro, e de dois meses para o álcool hidratado, considerando-se as previsões de consumo do mês de encerramento de cada safra. Cabia à Petrobras a responsabilidade de adquirir os volumes destinados à formação desses estoques.

- 3ª fase – 1985/1990: Aumento do volume de AEHC consumido, com a elevação da frota de carros dedicados.

O aumento da frota de carros dedicados e a elevação dos volumes de AEHC consumidos internamente culminaram com a edição do Decreto nº 94.541 de 1º de julho de 1987, cuja finalidade precípua consistiu na elevação dos volumes de AEHC e AEAC a compor os estoques de segurança nacionais para o período de dois meses. Esse decreto também determinava que referidos estoques seriam custeados com recursos equivalentes a 2,0% do preço da aquisição do etanol, mediante parcela específica a integrar os preços do bioetanol e, quando necessário, mediante parcela a integrar os preços dos derivados de petróleo, de acordo com resolução da CNP.

O decreto não alterou a obrigatoriedade anteriormente imposta à Petrobras de adquirir os volumes necessários para compor os estoques de segurança. No entanto, os ônus decorrentes da manutenção desses estoques foram considerados excessivos tanto pelos produtores como pela Petrobras, razão pelo qual os estoques não foram efetivamente implantados.



Percebe-se, portanto, que o tema referente à existência de estoques tem sido alvo de preocupações dos produtores e governo há mais de 20 anos, sem que uma solução satisfatória e/ou conclusiva sobre o tema tenha sido encontrada até a presente data.

- 4ª fase – 1985/1990: Preços favoráveis do açúcar no mercado internacional e fim dos subsídios ao setor.

A 4ª fase do Proálcool se caracteriza pelo final formal do programa, marcado pelo fim dos subsídios concedidos aos produtores, pela existência de preços mais atrativos à produção do açúcar para abastecimento do mercado internacional, pela estagnação da produção e queda dos preços internos de álcool, apesar da demanda por AEHC continuar crescendo, devido à frota de carros dedicados.

Com efeito, o declínio do Proálcool foi provocado por uma deficiência no planejamento, num contexto de preços administrados, que levou a um desajuste entre a oferta de álcool combustível e a produção de carros a álcool. A demanda de álcool hidratado crescia regularmente, mas a produção (oferta) de álcool parou de crescer a partir de 1985. Isso se deveu à maior atratividade do preço do açúcar no mercado internacional e ao fato dos preços internos dos combustíveis começarem a cair, por serem diretamente relacionados ao preço da gasolina que servia de referência para o preço do bioetanol hidratado.

Por sua vez, a queda do preço da gasolina deveu-se ao aumento da oferta externa e interna de petróleo, oriunda principalmente dos primeiros resultados relacionados aos investimentos efetuados pela Petrobrás para a ampliação da produção nacional de petróleo, e correspondente queda de preços (período conhecido como do contra-choque do petróleo).

De fato, com a diminuição do preço da gasolina, a competitividade do bioetanol ficou comprometida. Para garantir a oferta do álcool etílico hidratado no mercado, mantendo-se a relação de 70% do preço da gasolina, os subsídios teriam que ser cada vez mais elevados. Ao mesmo tempo, a Petrobras contabilizava um déficit cada vez mais elevado na conta álcool, cujo controle da distribuição a partir de 1986 passou a ter custos excessivamente altos.

A redução da oferta interna de álcool hidratado afetou fortemente a confiança dos consumidores. Houve necessidade por parte do governo federal de importar metanol e de reduzir o percentual de álcool anidro adicionado à gasolina de 22% para 18% e, posteriormente para 13% em 1990, com o intuito de abastecer o mercado doméstico de AEHC. Conseqüentemente, a fabricação de carros novos a bioetanol puro (dedicados) foi reduzida aceleradamente, passando de 85% em 1985 para 11% em 1990.

- 5ª fase – 1990/2001: Constituição Federal de 1988 e desregulamentação do setor.

No ano de 1988, promulgou-se nova Constituição Federal no país, caracterizando-se uma nova fase para o programa, fundamentada na não intervenção estatal e no planejamento indicativo para o setor privado, nos termos do *caput* do art. 174: “Como agente normativo e regulador da atividade econômica, o Estado exercerá na forma da lei, as funções de fiscalização, incentivo e planejamento, sendo este determinante para o setor público e indicativo para o setor privado”.

A promulgação da Constituição Federal de 1988 e a adoção pelo Brasil dos postulados neoliberais consolidados no Consenso de Washington – cujas 10 diretrizes convergem para dois objetivos básicos: drástica redução do papel do Estado na economia, e abertura às importações de bens e serviços e à entrada de capital de risco no país; culminaram com a extinção do IAA, com o início da liberalização dos preços e a desregulamentação do setor, concluída em 2002.

Ao mesmo tempo, o novo ordenamento jurídico instituiu o Departamento Nacional de Combustíveis (DNC) junto ao Ministério de Minas e Energia (MME), com atribuição, dentre outras, de fixar e controlar os estoques estratégicos para os combustíveis.

- Fase atual – a partir de 2002: elevação dos preços do petróleo, preocupação global com a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e aparecimento dos motores *flex-fuel*.

Desde o início desse século, o mundo retomou a atenção com os problemas ambientais, tratados nas décadas de 70 (Conferência de Estocolmo 72), 80 (Relatório Brundtland) e 90 (Conferência Rio 92, Convenção do Clima e Protocolo de Quioto), sobretudo com as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global oriundo de maiores concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente CO₂. Em decorrência, políticas visando a redução de emissões de gases de efeito estufa têm sido adotadas em diversos países e internacionalmente.

Concomitantemente, o preço do petróleo se elevou consideravelmente, e maiores investimentos em eficiência energética e em fontes de energia renováveis têm sido realizados em todo o planeta, visando a diversificação e a segurança energética.

No Brasil foram reintroduzidos no mercado nacional os veículos movidos a álcool. Todavia, contrariamente ao observado no passado, os veículos lançados detêm nova tecnologia, de motores flex-fuel ou bicomcombustível, que possibilita a seu proprietário escolher o tipo de combustível a ser utilizado (gasolina misturada com AEAC, ou AEHC) no momento do abastecimento. Dessa forma, assegura-se ao consumidor a alternativa de abastecimento com gasolina (E 25), vez que a memória da oferta de álcool prejudicada na década de 90, quando a produção interna foi insuficiente para assegurar



o mercado doméstico, ainda estava presente. Assim, concedeu-se nova oportunidade para o setor sucroalcooleiro reintroduzir o AEHC no mercado interno e obter de volta a confiança perdida dos consumidores nacionais.

Os preços favoráveis na bomba, comparativamente ao da gasolina, e a produção abundante de bioetanol nos recentes anos que se seguiram fizeram com que rapidamente os carros *flex-fuel* ou bi-combustíveis se tornassem um sucesso de vendas no país, consolidando em paralelo a mistura E25 como mandatória em todo território nacional.

Certo pois que, num contexto em que o setor sucroalcooleiro se encontra livre da intervenção experimentada por mais de 60 anos de história, inicia-se na atualidade, nova fase, pós-Proálcool, caracterizada pela comercialização de carros bicombustíveis e maiores preocupações ambientais, principalmente, como afirmado anteriormente, com o aquecimento global, emissão de gases de efeito estufa e mudanças climáticas anunciadas.

Essas preocupações não se limitam ao território nacional, mas abrangem todo o globo terrestre e trazem consigo a iniciativa de diversos países em editarem políticas de adoção de percentuais de biocombustíveis, em particular bioetanol nas gasolinas consumidas internamente.

A existência no exterior de políticas de fomento ao uso, produção e inserção de biocombustíveis nas matrizes energéticas nacionais, principalmente o etanol, traz consigo uma oportunidade para o Brasil, que dispõe de experiência e de tecnologia de produção adquirida em quase um século de uso contínuo do bioetanol como combustível automotivo, e mais de 30 anos de existência do Proálcool. Essa experiência, associada à grande disponibilidade de terras agrícolas com aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, impulsionam o setor a expandir sua produção. Mas o interesse estrangeiro pelo bioetanol traz também a possibilidade de risco de desabastecimento interno, caso situações contratuais mais benéficas ou preços mais favoráveis no mercado internacional tornem-se mais atraentes para os empreendedores do setor sucroalcooleiro.

Nesse contexto, e considerando o panorama internacional em torno do bioetanol combustível, apresenta-se ao final deste capítulo sugestões de diretrizes para temas identificados como relevantes para o pleno aproveitamento das oportunidades de expansão do setor, e para o norteamento de políticas públicas, caso se verifique a possibilidade de desabastecimento do mercado interno de bioetanol combustível.

9.2. Panorama Internacional para o etanol: tratados, políticas, barreiras e perspectivas para o Brasil

A produção de bioetanol combustível não constitui efetivamente algo novo. Dostarte as pesquisas de sua utilização remontem ao final do século dezenove, sua utilização corrente somente ocorreu na década de 1930, nos EUA, quando Henry Ford equipou seu modelo Ford T com motor capaz de funcionar tanto com bioetanol como com gasolina, como com qualquer combinação entre ambos, e no Brasil, com a mistura gasolina - etanol. À época, o bioetanol foi amplamente utilizado nos EUA como alternativa à gasolina para uso no mercado interno devido ao racionamento de materiais e recursos naturais. Contudo, após a Segunda Guerra Mundial, a combinação de tributos crescentes, de campanhas realizadas pelos principais produtores de petróleo e da progressiva disponibilidade de gasolina barata acabaram por inibir o uso do bioetanol como um combustível importante para o transporte.

Com efeito, quando a conflagração mundial terminou, a disponibilidade de gasolina a baixos preços desestimulou o uso do bioetanol como combustível por várias décadas na maioria dos países. Porém, isto não aconteceu no Brasil, devido ao importante papel da indústria açucareira na economia nacional e da intervenção governamental frequente na produção de etanol, que era vista como um instrumento de política para atingir a racionalização da indústria açucareira desde o início do século XX.

Passados mais de 60 anos do fim da Segunda Guerra Mundial, observa-se, na atualidade, a retomada do uso do bioetanol em vários países.

O mundo produziu em 2008, aproximadamente, 66 bilhões de litros de bioetanol combustível, sendo que os EUA e o Brasil detêm 90% da produção, com cerca 35 e 25 bilhões de litro, respectivamente (RFA; F.O.LICHT, 2009). Essa produção tende a crescer nos próximos anos devido ao grande interesse que muitos países passaram a ter pelos biocombustíveis, por conta, como dito anteriormente, de três fatores principais: preocupações ambientais (redução das emissões de gases de efeito estufa e da poluição em grandes cidades), segurança energética (diversificação e redução da dependência em relação ao petróleo) e apoio à renda dos agricultores.

As exportações mundiais de bioetanol movimentaram 13% e 10% da produção mundial, respectivamente em 2006 e 2007, com estimativa de manutenção desse nível em 2008 (UNICA, 2008), além de mostrarem-se extremamente voláteis em termos de preços e destinos.

Os volumes produzidos e exportados na atualidade, juntamente com o pequeno número de países com excedentes de produção para abastecimento do mercado internacional, ainda são insuficientes



para elevar o bioetanol à categoria de uma *commodity* global, apesar de observar-se, presentemente, um número crescente de políticas de fomento ao uso de biocombustíveis e a adoção mandatória de mescla de percentuais variáveis de bioetanol na gasolina em vários países.

Em 2006 e 2007, o Brasil exportou no total cerca de 3,5 bilhões de litros de etanol. Isso se deveu em parte a uma janela de oportunidade que se abriu nos EUA, devido à decisão de banir aceleradamente o uso do MTBE (*methyl tertiary butyl ether*), um oxigenador de origem fóssil utilizado para aumentar o poder de octanagem da gasolina, que apresenta elevados riscos de contaminação ambiental. O crescimento da demanda não atendido pela oferta interna americana elevou os preços do bioetanol e permitiu que as exportações brasileiras para aquele país saltassem de 260 milhões de litros em 2005 para 1,6 bilhão de litros, conseguindo aumentar o acesso ao mercado americano, apesar da taxa proibitiva de US\$ 0,14/litro (US\$ 0,54/galão).

Esse mesmo tipo de barreira também tem sido observada em relação à União Europeia, o Japão e outros países, impedindo o desenvolvimento global dos biocombustíveis sob bases racionais e competitivas. Apesar da existência dessas barreiras alfandegárias e de políticas de subsídio interno que distorcem as condições de concorrência, a exportação brasileira cresceu em 2008 para mais de 5 bilhões de litros, majoritariamente destinados aos EUA e Europa, apesar de uma crise mundial sem precedentes.

Espera-se que parte destas barreiras seja removida no decorrer dos próximos anos, de modo a assegurar maiores benefícios para consumidores e produtores competitivos (países do trópico úmido), menor volatilidade de preços, fluxos crescentes de comércio e maior segurança de suprimento, pela ampliação da diversidade da produção sustentável de bioetanol. Os principais países produtores de bioetanol combustível e a sua produção de 2007 e 2008 estão indicados na Tabela 9.2-1.

Tabela 9.2-1: Principais países produtores de bioetanol combustível

| País | Produção em bilhões de litros | |
|----------------|-------------------------------|--------------|
| | 2007 | 2008 |
| EUA | 24,69 | 34,20 |
| Brasil | 19,07 | 24,59 |
| União Europeia | 2,17 | 2,79 |
| China | 1,85 | 1,91 |
| Canadá | 0,80 | 0,90 |
| Outros | 0,32 | 0,49 |
| Tailândia | 0,30 | 0,34 |
| Colômbia | 0,28 | 0,30 |
| Índia | 0,20 | 0,25 |
| Austrália | 0,10 | 0,10 |
| Total | 49,79 | 65,87 |

Fonte: RFA - F.O. Licht (2009)

Todavia, a construção de um mercado global para os biocombustíveis não se fará de uma hora para outra, mas sim gradativamente, por meio, principalmente, da adoção mandatória de percentuais de bioetanol na gasolina em vários países, conforme se depreende da análise da Tabela 9.2-2.

Da mesma forma, a produção de bioetanol de cana deverá se consolidar como a alternativa mais viável quando comparada ao bioetanol de milho e demais existentes, sendo que o desenvolvimento tecnológico poderá possibilitar a duplicação dos volumes produzidos para a mesma área plantada por meio da utilização da hidrólise, ou seja, quando a tecnologia para a produção de bioetanol de material lignocelulósico, no caso, do bagaço, pontas e palhas estiver disponível em escala comercial.



Tabela 9.2-2: Demanda potencial de bioetanol e percentual de mistura de bioetanol na gasolina em diversos países

| País | Demanda potencial (bilhão de litros) | Mistura de etanol (%) | Observações |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Japão | 1,8 | 3 | Potencial E3 : E10: 6,0 bl Meta 2008: 7% ETBE em 30% da gasolina: 0,4 bl |
| EUA | 28,4 | | Mínimo para 2012 na RFS em aprovação no Senado. Máximo de mistura permitido 5,7%. 7% duty-free via CBI (908,4 base 2004) |
| China | 4,8 | 10 | Potencial E10 nível nacional; vigente apenas em províncias. Produz 1,8 bl para indústria e bebidas + 0,75 para E10. 0,7 milho + 0,2 mandioca + 0,1 melão. Demanda de 8 bl para 2012 (4,8 bebidas + indústria e bebidas) |
| UE | 7,4 | 5 | Potencial de bioetanol em adição de 5% em toda gasolina em 2011, limite permitido pela Diretiva Europeia dentre os 5,75% de biocombustíveis. |
| Índia ¹ | 1,07 | 10 | Em 3 fases, com retomada em dez. 2005: E5 em 9 estados + 4 uniões; E5 país e E10 país (0,340/0,535/1,070 bi). |
| Tailândia ² | 1,0 | 5 | Potencial para 2007; lançado em 2001; extinção do ETBE em maio de 2004, várias plantas de bioetanol autorizadas. |
| Filipinas ² | 0,35 | 10 | Potencial para 2010; E5 em 2007 = 0,16 bl. |
| Austrália ² | 2,1 | 10 | E10 potencial: Meta para 2010 projetada para 0,35 bl. |

¹Capacidade instalada de 1,4 bl ; busca auto-suficiência

²Plantas autorizadas pelo Governo; busca auto-suficiência

Fontes: EIA/DOE, Comissão Europeia, Lichts, Copersucar in UNICA (2007)

A produção e o consumo de bioetanol tendem a crescer nos próximos anos, sendo a cana-de-açúcar, o milho (grãos) e materiais lignocelulósicos (usados após o advento comercial da hidrólise) os principais insumos para atender a demanda mundial projetada, conforme se depreende da observação da Tabela 9.2-3.

Assim sendo, analisam-se, a seguir, a legislação e a regulação incidentes sobre o bioetanol combustível em várias partes do mundo, com destaque para os dispositivos legais que fomentam o consumo do bioetanol e sua produção local, assim como barreiras existentes para sua importação.

Esta análise envolve os EUA, a União Europeia, a América Latina (exceto o Brasil) e o Caribe, o Japão, a China, a Índia e a África, por sua provável importância no futuro mercado mundial do bioetanol combustível, como produtores, consumidores, ou ambos.

Tabela 9.2-3: Projeção de demanda por bioetanol - 2020 e 2030

| País/Região | 2020 | 2030 |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Matérias-primas convencionais | | |
| Estados Unidos | 58,0 | 63,0 |
| União Europeia – 25 | 24,8 | 40,0 |
| China | 12,6 | 18,2 |
| Resto do mundo (menos Brasil) | 6,0 | 10,3 |
| Brasil | 44,7 | 62,0 |
| Mundo | 146,1 | 193,5 |
| Material celulósico | | |
| Estados Unidos | 9,0 | 178,0 |
| Mundo | 9,6 | 203,0 |

Fonte: Walter et al (2008)

9.2.1. Estados Unidos da América

São os maiores consumidores de gasolina do mundo, tendo consumido em 2007 cerca de 538,9 bilhões de litros (EIA, 2009); a previsão é que em 2025 o consumo alcance 700 bilhões de litros.

Os norte-americanos são os maiores produtores de bioetanol do mundo, tendo produzido 34,2 bilhões de litros (a partir do milho) em 2008 (F.O. LICHT, 2009).



Certamente, a lei mais importante nos EUA em relação aos biocombustíveis é o Energy Policy Act (EPAAct), aprovado pelo congresso norte-americano em 24 de outubro de 1992, com o intuito de diminuir a dependência americana da importação de petróleo, elevar a segurança energética nacional e melhorar a qualidade do ar.

Como combustíveis alternativos previstos no EPAAct encontram-se, dentre outros, o metanol, o bioetanol e outros álcoois, misturas de 85% ou mais de bioetanol com a gasolina, hidrogênio e o biodiesel (B100).

A *Energy Policy Act* de 1992 permite que o bioetanol seja misturado à gasolina na proporção de 85% de bioetanol e 15 % de gasolina, formando a mistura denominada E85. Misturas com proporções superiores de etanol, como por exemplo o E95, também são classificadas como combustíveis alternativos sob sua égide. Os veículos movidos a E85 são denominados, assim como no Brasil, de veículos flexíveis (*Flexible Fuel Vehicles - FFV*) e são produzidos por várias montadoras.

Algumas das atividades abordadas pelo EPAAct relacionadas aos combustíveis alternativos são mandatórias, enquanto outras são voluntárias, mas todas elas visam à construção de um mercado sustentável para os combustíveis alternativos.

As atividades voluntárias do EPAAct estão sendo implementadas pelo Departamento de Energia dos EUA (*US Department of Energy- USDoe*), por meio do *Clean Cities Initiative*, criado em 1993 com a finalidade de fornecer informações técnicas sobre combustíveis alternativos e recursos financeiros para a sua utilização em frotas de veículos reguladas pelo governo.

Entre 1990 e 2007, o consumo de bioetanol nos EUA cresceu de aproximadamente 3,4 bilhões de litros anuais para 25,9 bilhões de litros anuais (RFA, 2008). Muito deste crescimento tem sido derivado da promulgação do *Clean Air Act* de 1990, que tornou obrigatório o uso de gasolina oxigenada em áreas cujos índices de poluição, provocados pela emissão de monóxido de carbono, fossem considerados inadequados à saúde humana.

No entanto, como o *methyl tertiary butyl ether* (MTBE), principal competidor do bioetanol no mercado de oxigenantes, tem contaminado aquíferos subterrâneos, muitos estados vinham limitado ou banido o seu uso, o que tem contribuído para o crescimento acelerado do mercado de etanol.

Essa constatação criou um movimento cuja intenção era emendar o *Clean Air Act*, no sentido de eliminar o uso dos oxigenantes. De modo a evitar esta eliminação e se retornar à situação anterior de poluição indesejada, propôs-se um padrão para o uso de combustíveis renováveis, denominado

Renewable Fuels Standards (RFS) nos EUA. O RFS requer que toda a gasolina vendida nos EUA contenha um combustível renovável como, por exemplo, o etanol.

Como consequência da adição obrigatória de bioetanol aos combustíveis fósseis, observou-se a elevação dos preços do milho e do bioetanol internamente, o que poderia ser facilmente evitado pela facilitação de importações de bioetanol com custos inferiores, proveniente de países em desenvolvimento, como “complementação” da produção americana.

No entanto, essa alternativa tem sido inviabilizada pelo fortíssimo *lobby* dos produtores locais de milho e de bioetanol a partir do milho no congresso americano. Esses produtores recebem do governo federal um subsídio de US\$ 0,51 por galão de etanol, com o intuito de tornar o preço deste combustível competitivo no mercado americano.

Além de conceder subsídio aos seus produtores de milho, os EUA protegem seu mercado interno por meio da imposição de uma tarifa de importação no valor de US\$ 0,54 por galão de bioetanol importado, equivalente a US\$ 142,7/m³, mais 2,5% *ad valorem*, barreira esta que restringe muito as importações, que acabam por representar apenas um pequeno percentual do mercado interno norte-americano.

Essa barreira, contudo, não é aplicada aos países da América Central e Caribe integrantes do Caribbean Basin Initiative (CBI), um acordo internacional celebrado com os EUA que possibilita a importação de até 7% do volume de bioetanol consumido internamente sem a incidência da tarifa supramencionada. Esse benefício tem gerado o incremento da produção interna de bioetanol nos países abrangidos por este tratado e também ocasionado o fenômeno denominado “triangulação”, mecanismo pelo qual países como o Brasil exportam grandes quantidades de bioetanol hidratado para países signatários do CIB, para que lá seja desidratado e adequado às normas e especificações norte-americanas em plantas especialmente projetadas para esta finalidade, com o intuito de exportar para os EUA sem a incidência da tarifa alfandegária.

Esse esquema de exportação livre da incidência da tarifa de importação de bioetanol nos EUA constituiu-se em objeto de preocupação para os produtores internos, posto que o volume de importações *duty-free*, por meio da utilização do CBI, tenderá a aumentar significativamente nos próximos anos.

Em relação à aquisição de veículos movidos a E85 pelos americanos, o governo e os fabricantes de veículos, como a GM, têm incentivado a compra desses modelos por meio de campanhas vinculando melhores resultados ambientais e a geração de empregos no campo. Nota-se, entretanto, que os preços do combustível somente são competitivos devido aos incentivos e subsídios concedidos pelo governo.



Espera-se, assim, a ampliação do número de postos de combustível contendo bombas de E85 nos diferentes estados norte-americanos nos anos que se seguirem. Muitos investimentos têm sido efetuados, assim como concedidos incentivos e subsídios governamentais para fomentar a produção e consumo de bioetanol nos EUA. Contudo, observa-se muita variação entre os estados tanto em relação aos volumes de bioetanol produzidos e consumidos, como no uso potencial de E101 ou E85 no futuro.

Assim sendo, até o presente momento, não foram fomentados o consumo ou a produção de bioetanol combustível em todos os estados americanos, assim como padronizada a qualidade do bioetanol consumido internamente, vez que o sistema legal ao qual o país se submete permite a existência de políticas, especificações e padrões diversos para os estados que compõem a federação norte-americana. Poucos, também, são os estados que possuem uma rede de abastecimento adequada para o E85, conforme pode ser observado na Figura 9-1.

Espera-se que a adoção tanto do E85 como do E10 seja fomentada nos próximos anos de modo mais efetivo, com um maior rigor legal, posto que várias estados já possuem normas impondo a obrigatoriedade de uso do combustível.

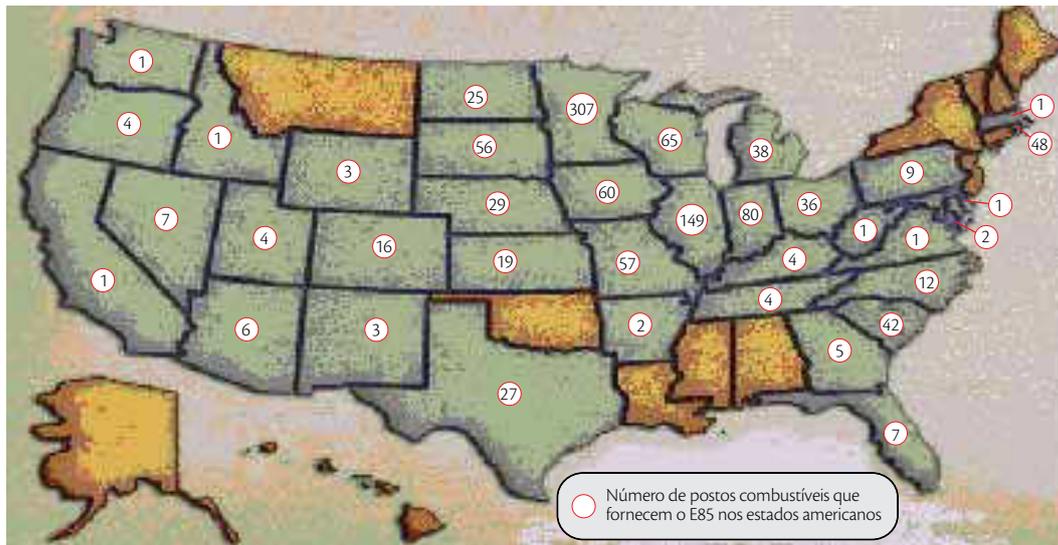


Figura 9-1: Número de postos combustíveis que fornecem o E85 nos estados americanos

1 Mistura de 10% de bioetanol na gasolina.

Fonte: American Coalition for Ethanol (2007)

Observa-se que as grandes variações no consumo e na produção de bioetanol combustível entre os estados norte-americanos deverão se manter ao longo do tempo, principalmente pelo fato de nem todos os estados desenvolverem políticas de incentivo para a produção de bioetanol (vide Figura 9-2) e consumos mandatórios de combustíveis renováveis.

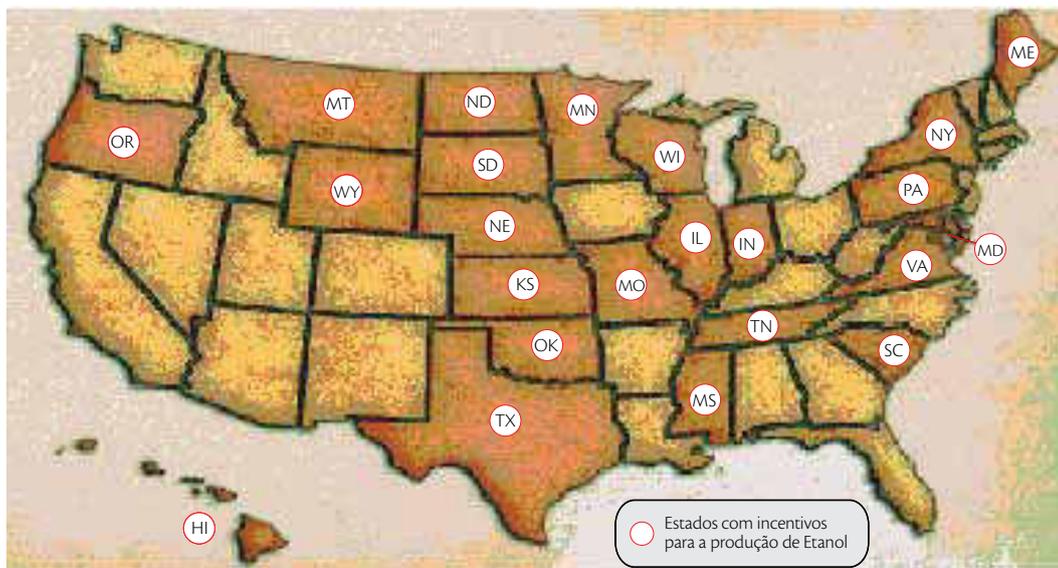


Figura 9-2: Estados norte-americanos com incentivo para a produção de etanol

Fonte: American Coalition for Ethanol, 2007

Dos estados norte-americanos, destacam-se com maior potencial produtivo de bioetanol os estados de Iowa, South Dakota, North Dakota, Nebraska, Minnesota, Illinois, Wisconsin, Michigan, Kansas, Indiana e Missouri. Embora outros estados também produzam etanol, seus volumes são baixos.

Considerando, agora, as destilarias em construção, as maiores capacidades de produção estarão localizadas, em um futuro próximo, nos estados de Iowa, Nebraska, Indiana e Minnesota, nesta seqüência.

Boa parte desta produção adicional deverá ser destinada a suprir a demanda derivada da intensificação da utilização do E10 no mercado nacional.



9.2.2. União Europeia

A redução das emissões dos gases que causam o efeito estufa, em particular o CO₂, a diversificação das fontes de energia para fornecimento de combustíveis, a proteção da economia agrícola e o desejo de uma maior segurança energética têm motivado a União Europeia (UE) a promover a produção e a utilização dos biocombustíveis, considerando-os, também, o meio mais eficaz de se reduzir as emissões associadas ao setor de transportes.

A produção e uso de biocombustíveis por vários países europeus não é algo novo, vez que se iniciou na década de 1990. Nesta época também começaram a ser adotadas políticas, no âmbito da União Europeia, com foco principal na segurança do suprimento energético ao bloco de países que a compõem.

Dentre as políticas existentes, destaca-se a Política Agrícola Comum (CAP²), uma das mais antigas políticas da UE, da época, ainda, da Comunidade Econômica Europeia. Ela tradicionalmente envolvia a produção de grãos, já que regulava os preços e as áreas plantadas, intervinha nas relações de compradores, geria estoques e controlava rigidamente as fronteiras agrícolas. Essa política, no entanto, foi revisada em 2003 para eliminar distorções quanto aos mercados europeus de *commodities*. Atualmente, a CAP inclui regras sobre a utilização do solo, bem como um programa de remuneração para a produção de culturas voltadas aos biocombustíveis.

Pela CAP, os fazendeiros são obrigados a reservar 10% de suas áreas agricultáveis sem uso com o intuito de promover a biodiversidade. Aqueles que participam desta política recebem um pagamento como forma de compensação pela não utilização e tem autorização de plantar espécies oleaginosas para a produção de biodiesel ou outros produtos industriais que não sejam passíveis de venda no mercado de alimentos.

A UE criou, também, o Programa de Remuneração de Culturas Energéticas. Consideram-se culturas energéticas aquelas destinadas à produção de biocombustíveis, ou à produção de energia elétrica e/ou térmica. As reformas na CAP definiram uma remuneração de €45 por hectare cultivado de cultura energética. Esta remuneração foi garantida, em 2003, para uma área máxima de 1,5 Mha³. Em 2005, 500 mil hectares receberam esse subsídio.

² Abreviatura do termo Common Agricultural Policy (CAP).

³ Regulação do Conselho N° 1782/2003, título IV, capítulo 5, "Adição para culturas energéticas", Set. 29, 2003, p.29.

Em relação específica à promoção do uso de biocombustíveis, em 8 de maio de 2003 foi publicada a Diretiva 2003/30/CE, com o intuito de promover a utilização de biocombustíveis e outros combustíveis renováveis em substituição à gasolina e ao óleo diesel utilizados nos transportes, considerando-se como biocombustíveis: bioetanol, biodiesel, biogás, biometanol, bioéter dimetílico, bio-ETBE, bio-MTBE, biohidrogênio e óleo vegetal puro.

A diretiva fixou uma meta de substituição de 20% dos combustíveis convencionais por combustíveis alternativos no setor de transporte até o ano 2020. Estes só poderão penetrar no mercado se tiverem uma disponibilidade generalizada e forem competitivos. Contudo, a diretiva não estabelece as proporções de mistura dos biocombustíveis aos combustíveis convencionais, ressaltando somente que a maior parte dos veículos em circulação na União Europeia é capaz de utilizar misturas com baixo teor de biocombustível. Motores tecnologicamente mais avançados possibilitam o uso de maiores percentuais, como 10% ou mais.

A diretiva estabelece que os países-membros deverão assegurar a disponibilização, em seus mercados, de uma proporção mínima de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis, e estabelecer metas indicativas nacionais. O valor de referência dessas metas, fixado para o prazo limite de 31 de dezembro de 2005, com base no conteúdo energético dos combustíveis, foi de 2% para toda a gasolina e o óleo diesel utilizados no setor de transportes. Segundo a diretiva, o valor de referência dessas metas, calculado com base no conteúdo energético dos combustíveis, deve subir, até 31 de Dezembro de 2010, para 5,75 %.

Dando sequência ao estabelecimento de um quadro legal normativo, em dezembro de 2005 a UE adotou um Plano de Ação para a Biomassa (COM, 2005, 628 final), visando um aumento no uso de energia derivada da silvicultura, agricultura e resíduos sólidos.

Entretanto, apesar das diretivas editadas, a meta proposta para 2005 pela Diretiva 2003/30/CE, ou seja, 2% de mistura de biocombustíveis aos combustíveis convencionais, não foi atingida. Alcançou-se somente uma participação de 1,4%. Para que a meta de 5,75% no ano de 2010 seja atendida, estima-se que seria necessário produzir cerca de 12 bilhões de litros de bioetanol. Como a produção atual é de aproximadamente 2,79 bilhões de litros, com destilarias planejadas para incrementar 4,11 bilhões de litros à capacidade atual, conclui-se que a UE não tem condições de atingir a meta proposta no prazo de 2 anos sem recorrer a importações, o que abre a possibilidade para exportações brasileiras e de eventuais novos produtores.



9.2.3. América Central e Caribe

O principal programa que rege as relações comerciais entre os Estados Unidos e seus vizinhos situados na América Central e no Caribe denomina-se *Caribbean Basin Initiative (CBI)*.

O CBI foi lançado em 1983, por meio do *Caribbean Basin Economic Recovery Act (CBERA)* e substancialmente expandido em 1990, por meio do *Caribbean Basin Economic Recovery Expansion Act*.

O *Caribbean Basin Trade Partnership Act (CBTPA)*, promulgado no ano 2000, foi uma terceira lei, criada para compor um 'programa compreensivo' cujo objetivo consiste em promover a revitalização e facilitar o desenvolvimento econômico e a diversificação das exportações nas economias associadas aos países que integram a região do Caribe.

O CBTPA entrou em vigor em 1º de outubro de 2000 e sua vigência se estende até 30 de setembro de 2008, ou alguma data em que algum acordo de livre comércio entre em vigor entre os Estados Unidos e os países daquela região.

Juntas, estas três leis compõem o *Caribbean Basin Initiative (CBI)*.

O CBI propicia, na atualidade, acesso livre (*duty-free*) ao mercado norte-americano a 24 países beneficiários, quais sejam: Aruba, Bahamas, Barbados, Belize, Costa Rica, República Dominicana, El Salvador, Grenada, Guatemala, Haiti, Honduras, Jamaica, Montserrat, Antilhas Holandesas, Nicarágua, Panamá, St. Kitts e Nevis, Santa Lúcia, São Vicente e as Grenadines, Trinidad e Tobago.

O fato de maior relevância em relação ao CBI consiste na possibilidade dos países caribenhos relacionados acima exportarem para os Estados Unidos o volume correspondente a 7% da produção total de bioetanol americana sem a incidência da tarifa de US\$ 0,54 por galão comumente imposta aos demais países do globo. O bioetanol não necessita, necessariamente, ser produzido nos países que compõem o CBI, mas deve, obrigatoriamente, ser desidratado e transformado em combustível com os padrões exigidos nos EUA antes de adentrar o mercado norte-americano.

Além da possibilidade de os países beneficiários do CBI poderem exportar 7% do volume total do bioetanol produzido nos EUA para aquele país, o CBI também permite aos EUA importar um volume adicional de bioetanol da ordem de 35 milhões de galões sem a incidência de tarifas, contanto que pelo menos 30% do bioetanol produzido seja proveniente de culturas locais (região do Caribe). Qualquer volume superior a estes 35 milhões de galões é permitido, desde que o bioetanol seja produzido com 50% de biomassa proveniente dos países contemplados pelo CBI.

Os volumes exportados via CBI para os EUA são significativos. De acordo com o *United States International Trade Commission*, aproximadamente um terço de todo o bioetanol importado pelos EUA entre os anos de 1999 e 2003 foi proveniente de países pertencentes ao CBI. Em 2005, as importações via CBI representaram mais da metade das importações norte-americanas. Porém, no total, as importações de bioetanol possuem um pequeno papel no mercado norte-americano, posto que, em 2005, o consumo interno de bioetanol foi de aproximadamente 3,9 bilhões de galões, dos quais as importações totalizaram somente 180 milhões de galões, ou cerca de 5% do total. As importações via CBI totalizaram aproximadamente 2,7%.

Como a produção de cultivares destinados à fabricação de bioetanol nos países integrantes do CBI ainda não é significativa, o bioetanol é, em grande parte, produzido em países diversos, mas reprocessado nos países da região caribenha para viabilizar a exportação para os EUA, formando o que se denomina de triangulação, no qual o Brasil detém importante papel por exportar parte de sua produção sem a incidência da tarifa de importação americana.

Este reprocessamento consiste na desidratação do bioetanol importado de países da Europa e do Brasil. Atualmente existem plantas de desidratação de bioetanol operando na Jamaica, Costa Rica, El Salvador e Trinidad e Tobago.

A Jamaica e a Costa Rica foram os principais exportadores de bioetanol desidratado para os EUA entre os anos de 1999 e 2003.

A Figura 9-3 ilustra o crescimento das exportações brasileiras de bioetanol para os EUA, via países do CBI.

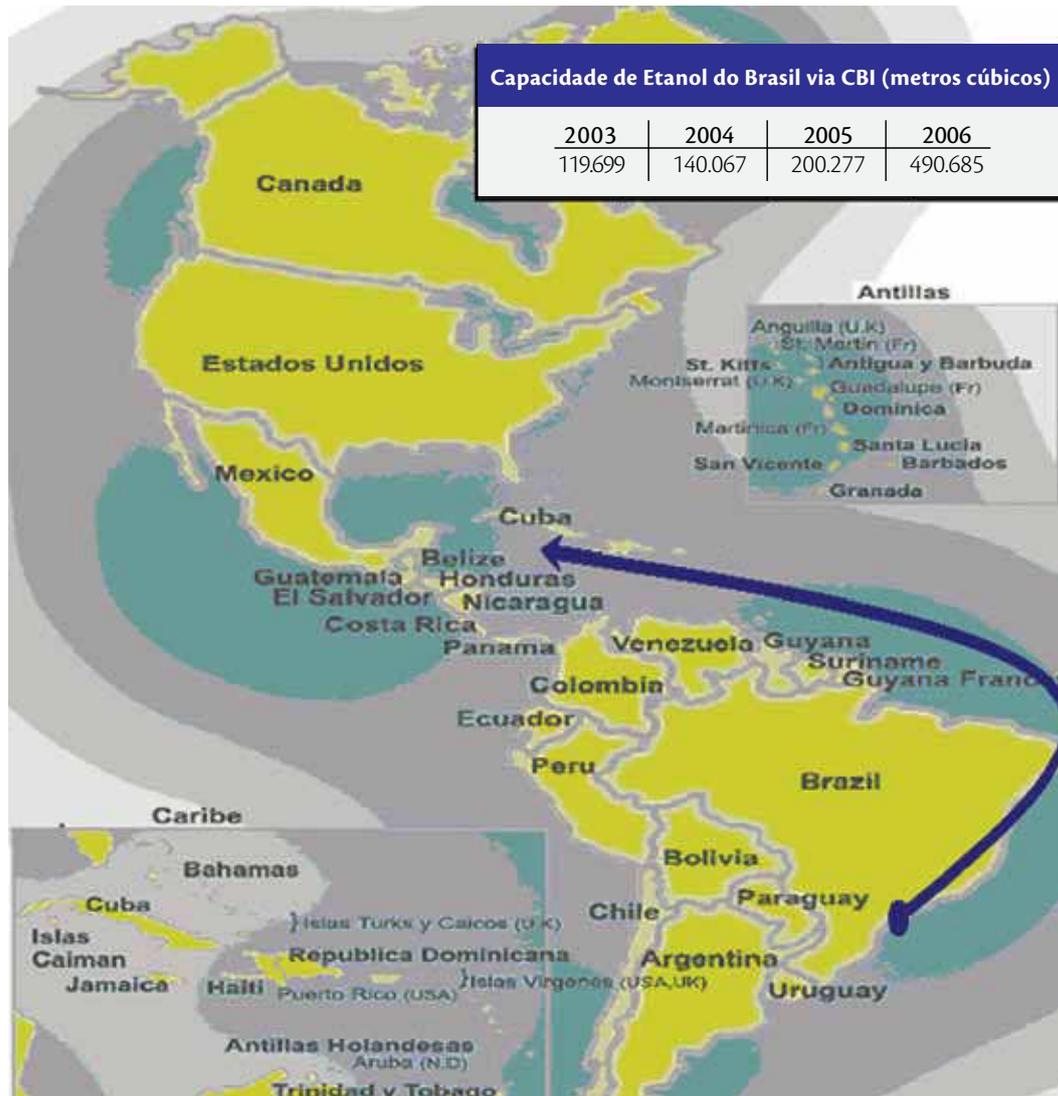


Figura 9-3: Importação de bioetanol brasileiro pelos EUA via países do CBI

Fonte: Coimex, 2007

Não se sabe quanto tempo mais poderá durar esta triangulação, pois, na medida em que ocorrer a expansão da produção de bioetanol nos países caribenhos, serão ampliadas as pressões para se reduzir esta prática.

Em 02 de agosto de 2005, o governo Bush assinou um tratado denominado *Central America Free Trade Agreement* - CAFTA. Este tratado definiu a repartição dos 7% de isenção de impostos entre os países do Caribbean Basin Initiative, restringindo a quantidade de bioetanol a ser exportada *duty-free* para os Estados Unidos. Ainda não se sabe quais serão as consequências dessa distribuição, ou seja, das quotas pré-estabelecidas pelo governo norte-americano, sendo incertos os efeitos práticos desse tratado. Entretanto, a partir da vigência da CAFTA aumentaram o número de agroindústrias interessadas na formação de parcerias (*joint ventures*) entre o Brasil e a América Central.

Foram finalizadas as construções de plantas de produção de bioetanol em El Salvador, Jamaica, Trinidad e Tobago e no Panamá. Estas plantas foram estrategicamente instaladas para tirar vantagem do acordo CAFTA, por meio da importação de bioetanol com maior concentração de água do Brasil para posterior desidratação e transformação em combustível nas especificações utilizadas nos EUA para exportação livre de tarifas.

Como resultado destas parcerias, em 2005 foram exportados 240,4 milhões de galões de bioetanol proveniente de biomassas estrangeiras para os EUA livre da incidência da tarifa de US\$ 0,54.

Uma vez que estas plantas estejam concluídas não será difícil para os países situados na América Central investirem no desenvolvimento de culturas locais para a produção de bioetanol visando à exportação para o mercado norte-americano sem a incidência de tarifas.

Aliás, na América Central, todos os principais produtores de cana-de-açúcar têm considerado a opção de produzir bioetanol por duas razões principais: (i) como uma ferramenta de modernização e diversificação da indústria da cana-de-açúcar e (ii) para exportar bioetanol para os EUA, principalmente sob a égide do CBI – *Caribbean Basin Initiative*.

Note-se que, diferentemente dos outros países anteriormente mencionados, estes não concentram suas preocupações no atendimento de suas demandas domésticas.

Importante ressaltar que com a possibilidade de vigência do *Free Trade Area of the Americas* - FTAA, ou ALCA – Área de Livre Comércio das Américas, o acordo CAFTA poderia ser expandido para 34 países, com exceção de Cuba, o que permitiria ao Brasil aumentar significativamente sua exportação para os EUA.

Com efeito, como a produção brasileira de bioetanol supera amplamente a dos principais países produtores nesta região, quais sejam, Jamaica, El Salvador e Costa Rica, o Brasil teria uma vantagem significativa no curto e médio prazos de exportar seus excedentes de bioetanol para os EUA, parti-



cularmente para os estados da Califórnia e Nova York, nos quais o custo associado ao transporte via marítima é inferior ao transporte rodoviário.

Apesar de os EUA serem o principal consumidor potencial do bioetanol produzido na região caribenha e América Central, alguns países localizados nesta região iniciaram estudos para a produção local e para a adoção de percentuais de bioetanol adicionado às gasolinas consumidas internamente.

Dentre os mais significativos citam-se: Honduras, El Salvador, Guatemala (E10), Costa Rica, Jamaica, Panamá (E10), Nicarágua e Trinidad e Tobago. Contudo, apesar de nem todos participarem com percentuais especificados, já há iniciativas governamentais nesse sentido.

9.2.4. América do Sul

Além do Mercosul, que permite o livre comércio de inúmeros produtos entre Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, existe outro tratado internacional, o Pacto Andino, comumente conhecido pela sigla CAN (derivada de Comunidade Andina), celebrado entre Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia, que também pode ser relevante para a expansão da produção de bioetanol combustível no mundo.

Este pacto teve origem em 26 de maio de 1969, no Acordo de Cartagena, por meio do qual a Colômbia, o Peru, a Venezuela, o Equador, a Bolívia e o Chile criaram uma União Aduaneira e Econômica para estabelecer restrições à entrada de capital estrangeiro, com base em estudos da Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), órgão da ONU.

Em 1973, com a subida ao poder do General Augusto Pinochet, o Chile retirou-se do Pacto, abrindo sua economia ao mercado externo, principalmente ao norte-americano.

Hoje, o grupo de países remanescentes objetiva criar um mercado comum em função do processo de globalização econômica, que exige a formação de blocos de países para melhor defesa de seus interesses e promoção integrada do seu desenvolvimento.

Como instrumentos de defesa de seus interesses econômicos, estes países possuem negociações diretas com a União Européia e os Estados Unidos, com a finalidade de, por meio das exportações realizadas para eles, fomentar o desenvolvimento de suas economias e combater o tráfico de drogas através da substituição da dependência de plantações de coca por outras lavouras comerciais.

Na Colômbia, no que diz respeito a medidas de apoio ao uso de etanol, destacam-se as seguintes:

- 1 Lei que obriga a adição de 10% de bioetanol à gasolina, para cidades de mais de quinhentos mil habitantes;
- 2 Isenção de impostos no bioetanol dos combustíveis oxigenados e de imposto de importação de máquinas necessárias para a montagem de destilarias;
- 3 Estrutura de preços para a gasolina oxigenada que assegura estabilidade para os produtores de etanol.

9.2.5. Japão

Após a sua adesão ao Protocolo de Quioto, o Japão, cuja meta de redução imposta é de 6% com relação ao nível de 1990, tem procurado consumir novos tipos de energéticos menos poluente, visando diversificar sua matriz energética, tornando-a menos dependente do petróleo, e reduzir o impacto ambiental desta matriz.

Neste contexto, o governo japonês promulgou, em 1998, uma lei que promove medidas contra o aquecimento global e anunciou diretrizes para a promoção de tais medidas, principalmente quanto ao setor de transportes, que totalizou 22% das emissões do País para o ano de 2001.

O programa japonês está sendo implementado gradativamente, tendo se iniciado em maio de 2003 após a regulamentação da Lei nº 50 que permite a adição de até 3% de bioetanol à gasolina a partir de março de 2004. Esta lei facultou o uso da mistura de bioetanol à gasolina em 2004 nas regiões de Osaka e da ilha Hokkaido. De 2005 em diante, a mistura passou a valer para todo o país, pretendendo-se elevar o percentual para 10% até o ano de 2012.

O potencial de consumo de bioetanol no Japão é grande, dado seu elevado consumo de gasolina. O Japão é o terceiro maior consumidor de gasolina do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos e China.

E, considerando-se a pequena extensão territorial do país, sabe-se que o Japão não terá condições de produzir bioetanol na quantidade necessária para suprir a sua demanda. A importação de bioetanol deverá substituir parte da importação de petróleo ou gasolina. A produção interna de bioetanol é limitada, sendo usada principalmente na indústria. Em 2004 a produção de bioetanol foi 120 milhões de litros. O governo japonês afirmou que em 2010 o Brasil poderá ser o principal fornecedor de bioetanol combustível, com 80% das importações deste biocombustível; em 2025 as importações de bioetanol seriam de 10 bilhões de litros e o Brasil exportaria para este mercado 8 bilhões de litros.



Destaca-se, porém, que o país tem investido em tecnologias para a produção de bioetanol por meio da hidrólise, que apesar de ainda não competitivas, poderão suprir, no futuro, percentual considerável de sua demanda.

O Brasil, por sua capacidade de produção de matéria-prima e infraestrutura de produção, tem um superávit de produção de etanol; e, com um período de preparação de 3 a 4 anos, seria capaz de fornecer ao Japão todo o bioetanol necessário (em torno de 6 bilhões de litros) para a mistura E10, uma vez que seu consumo de gasolina foi de 58,5 bilhões de litros em 2007 (EIA, 2009).

Tabela 9.2-4: Resumo dos planos de difusão do E3 e do E10 no Japão

| Etapa | Período | Conteúdo |
|---------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plano de difusão do E3 | | |
| Etapa de projetos pilotos (primeira etapa) | 2003-2004 | Difusão do E3 começando em zonas que podem fazer uso efetivo dos recursos internos de biomassa. Possibilidade de importação de etanol, entre outros do Brasil. Os projetos são considerados testes adicionais para o bioetanol importado, sendo que a partir daí selecionam-se temas relativos ao transporte, instalações, etc. |
| Etapa de difusão e expansão (segunda etapa) | 2005-2012 | Ampliação do uso do E3 para todo o país, para, finalmente, se atingir a meta de 2012. Manter a importação de etanol, ao mesmo tempo em que se amplia a oferta de E3 pela produção de bioetanol com recursos internos de biomassa. Estima-se que as melhores matérias-primas para o bioetanol dentro do país sejam a celulose e desperdícios da indústria de construção (restos de madeira de construção), aproveitando em torno de 4,5 milhões de toneladas das 7,35 milhões geradas anualmente. Construção de plantas de bioetanol a partir de 2005. Depois de 2012 a principal fonte de abastecimento será o bioetanol produzido internamente. A previsão do abastecimento de bioetanol para 2012 é de se importar 840 milhões de litros e se produzir internamente 910 milhões (consumo de E3 equivalente sobre 58,37 bilhões de litros e redução das emissões de CO ₂ equivalente de 2,49 milhões toneladas). |
| Plano de difusão do E10 | | |
| E10 | 2016-2020 | Promover o uso do E10 em cooperação com o setor automobilístico. Fornecimento de E10 a partir de aproximadamente 2016. Consumo de E10 em 2020 sobre 60,02 bilhões de litros e redução de 8,54 milhões de toneladas de CO ₂ . |

Fonte: JBIC, 2006

Diante da previsão de aumento da importação de bioetanol para fins industriais, o governo japonês definiu a redução das tarifas de importação incidentes sobre o produto brasileiro, de 23,8%, para 20,3% em abril de 2007, e, sempre no mesmo mês dos anos seguintes, para 16,9%, 13,4%, devendo chegar a 10% em 2010, como forma de aumentar a competitividade do produto.

Logo, o Japão apresenta-se com bom potencial como importador de etanol, tanto devido à impossibilidade de produzir biocombustíveis de uma forma competitiva em sua extensão territorial de modo a atender a demanda interna, quanto pelo fato de possuir a segunda maior frota de veículos no mundo. Por outro lado, pelo seu elevado potencial de produção e baixo custo, o Brasil é o melhor supridor de bioetanol no momento e, pelo menos, no curto e, provavelmente médio prazo, para abastecer o promissor mercado japonês.

9.2.6. China

Em 2006 consumiu 71,1 bilhões de litros de gasolina (IEA, 2009) e espera-se um importante crescimento na demanda em 2025, chegando a 92 bilhões de litros.

Depois dos Estados Unidos e do Brasil, a China é o país que mais produz etanol, com 1,91 bilhão de litros em 2008.

A partir de 1993, a China começou a importar petróleo e esse volume tem aumentado anualmente. Suas reservas de petróleo correspondem somente a 2% das reservas internacionais e como o país já é o segundo maior consumidor mundial deste combustível, o governo chinês tem buscando a diversificação da matriz energética nacional por meio da adoção de combustíveis alternativos, que incluem os provenientes de biomassa, já que esta matéria-prima é abundante no país.

A principal matéria-prima para a produção do bioetanol chinês é o milho, mas testes estão sendo realizados com mandioca, batata-doce e cana-de-açúcar nas destilarias chinesas em função do “Décimo Plano Quinquenal” (2001-2005), que definiu o consumo do E10 como um projeto importante para a nação.

Assim sendo, desde março de 2005, as províncias de Heilongjian, Jilin, Liaoning e Henan passaram a utilizar o combustível com bioetanol em seus veículos. A taxa de difusão da mistura na Província de Jilin chegou a 90%, alcançando um recorde de vendas de 800 milhões de litros de combustível com etanol, sendo que nas outras três províncias restantes a taxa ultrapassou 80%.



É importante ter em mente que a indústria de automóveis chinesa tem crescido mais rapidamente do que em qualquer outro país no mundo; a produção cresceu de 1,8 milhão para 8,8 milhões entre 1999 e 2007, segundo dados da *International Organization of Motor Vehicle Manufactures* – OICA.

9.2.7. Índia

A expansão do programa de bioetanol na Índia tem sido determinada principalmente pela demanda proveniente da indústria química, sendo que como o fornecimento doméstico permanece inelástico, pelo menos no curto prazo, os preços do produto serão diretamente afetados pelas flutuações da demanda no setor químico.

Em relação à produção de cana-de-açúcar, as preocupações primárias dos produtores indianos voltam-se ao abastecimento da demanda local de açúcar, ao invés da produção de etanol, razão pela qual o mercado indiano ainda permanece como um dos mais regulados no mundo.

As plantações de cana-de-açúcar no país ocupam uma grande área, que se estende do norte ao sul de seu território. Como matéria-prima na produção do etanol, para ser misturado à gasolina, se utiliza o melaço derivado da fabricação do açúcar. Maharashtra é o único estado que produz bioetanol diretamente da cana-de-açúcar, como no Brasil.

O plano de mistura de bioetanol na gasolina na Índia tem, entre outros objetivos, controlar a poluição atmosférica das grandes cidades, reduzir a dependência externa do petróleo, garantir condições básicas de vida para a população rural (que representa cerca de 60% da população total) e aumentar as oportunidades de emprego. Na Índia existem cerca de 300 plantas de processamento de bioetanol com uma capacidade total em torno de 3,2 bilhões de litros.

Em relação ao fomento ao uso interno de etanol, em janeiro de 2003 o governo indiano deu início ao Programa do Etanol, voltado à promoção da produção para utilização nos transportes. O programa foi dividido em 3 fases. A primeira visava a utilização de E5 em 9 estados e 4 territórios e deveria ser concluída em janeiro de 2003. Até outubro daquele ano o consumo do E5 deveria atingir todo o país, constituindo a Fase 2 do programa. Finalmente, a sua Fase 3 previa a utilização de E10 até 2005. Houve, no entanto, atrasos desde a primeira fase do programa.

Além de fomentar a utilização da gasolina com bioetanol adicionado, o governo indiano reduziu os impostos para a mistura em fevereiro de 2003, com o intuito de diminuir a diferença de preços com a gasolina pura, subsidiando a produção do etanol.

Observa-se que o volume médio de produção de bioetanol na Índia no período 2001-2005 foi de 1,78 bilhão de litros, volume suficiente para atender à demanda inicial da mistura E5 na gasolina consumida internamente. Todavia, se a matéria-prima para sua produção se limitar ao melão, como observado na atualidade, não será possível cobrir a demanda futura. Ciente disto, o governo está analisando a possibilidade de incrementar a produção de cana-de-açúcar, utilizando-a, diretamente na produção de etanol. Novas destilarias de bioetanol estão sendo construídas, mas o volume deficitário terá que ser importado. O Brasil seria o país fornecedor. Neste sentido, os dois países já assinaram um acordo de transferência de tecnologia.

9.2.8. Austrália

Em 2007, consumiu 19,3 bilhões de litros de gasolina (EIA, 2009) e espera-se que a demanda atinja 31 bilhões de litros em 2025.

O apoio aos biocombustíveis consiste principalmente em três ações, a saber:

- 1 Lei permitindo o uso de bioetanol misturado à gasolina em até 10% (E10);
- 2 Isenção de impostos sobre bioenergéticos até 2011;
- 3 Obrigação das companhias de energia de produzir 10% do valor energético dos seus produtos com recursos renováveis.

Na Austrália, a produção de bioetanol combustível em 2008 foi aproximadamente de 100 milhões de litros (F.O. LICHT, 2009); como o consumo anual de gasolina está em torno de 20 bilhões de litros, haveria margem para aumentar a produção de bioetanol em torno de vinte vezes.

9.2.9. Tailândia

Em 2006, consumiu 7,2 bilhões de litros de gasolina (IEA, 2009) e espera-se que o consumo aumente para 10,8 bilhões de litros em 2025.

A adição não obrigatória de 10% de bioetanol na gasolina é a medida principal de apoio ao uso. Desde 2002, o bioetanol puro ou misturado à gasolina para transporte é isento de impostos. Mandioca, grãos e cana-de-açúcar são as matérias-primas usadas. Em 2008 a produção de bioetanol combustível foi de 340 milhões de litros (F.O. LICHT, 2009).



9.2.10. África

Em média, a produção de biomassa em climas tropicais e subtropicais é cinco vezes mais produtiva, em termos de eficiência de fotossíntese, do que a biomassa produzida em regiões temperadas. Assim sendo, potencialmente, a África reúne condições climáticas favoráveis para a produção de cana-de-açúcar e de sorgo sacarino, conforme ilustrado na Figura 9-4.

Esse fato chamou a atenção de pesquisadores que concluíram, em um estudo recente, que o potencial de produção de biomassa na África Subsaariana (descontados a produção de alimentos e escassez de recursos) constitui o maior potencial dentre todas as principais regiões produtoras mundiais.

O alto potencial resulta das amplas áreas adequadas ao cultivo de biomassa encontradas na região, nelas incluídas áreas de pastagem, áreas que não são correntemente utilizadas e áreas com baixa produtividade nos sistemas de produção agrícola existentes.

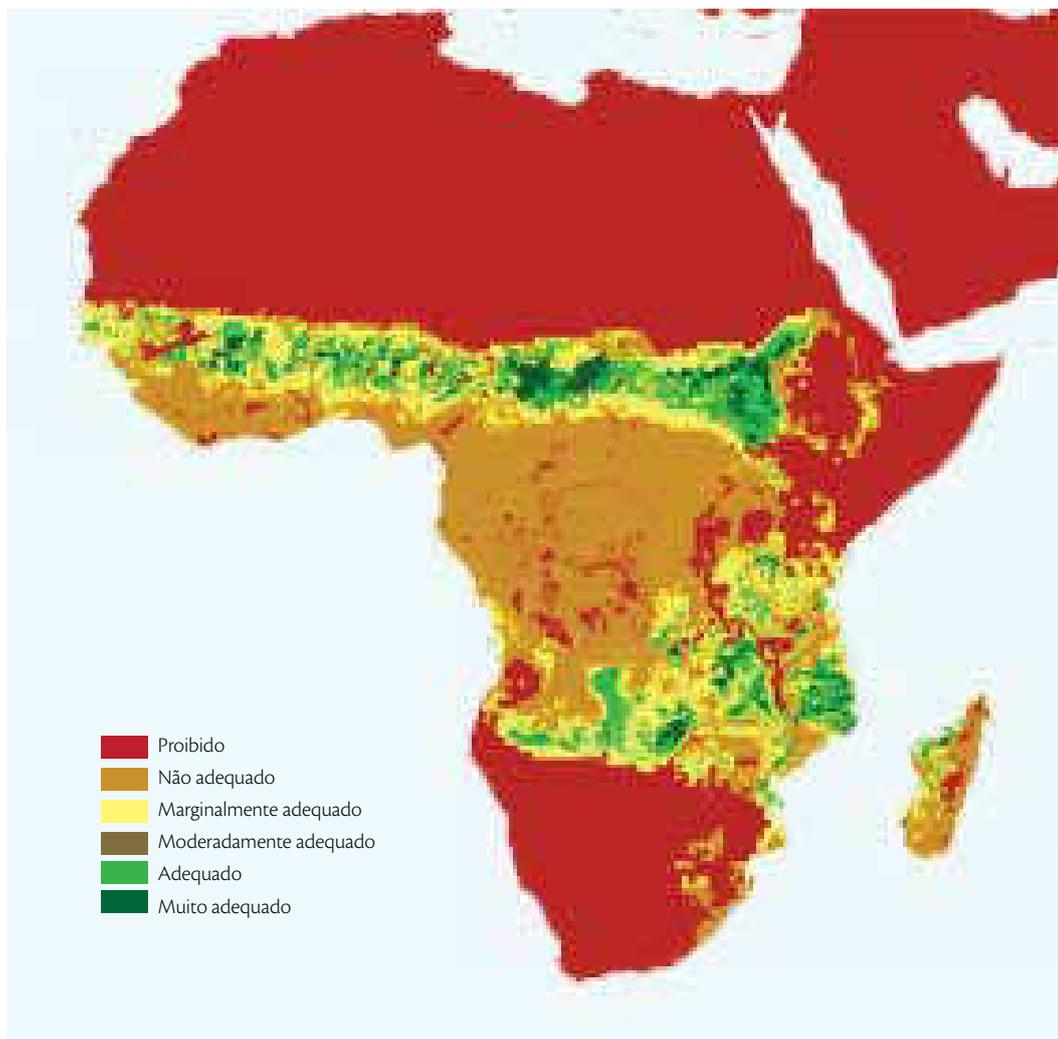


Figura 9-4: Áreas potenciais para a produção de cana-de-açúcar e sorgo sacarino na África

Fonte: Rockström, 2007

Além das condições físicas favoráveis para a biomassa, o baixo custo associado à mão de obra local constitui outro fator a contribuir para a vantagem comparativa que a produção de biomassa e bio-energia apresentam na região.

Essa vantagem, associada à localização do continente, à necessidade de cooperação internacional para desenvolver a região e auxiliá-la na luta contra a pobreza e contra a Aids, tem ampliado as pos-



sibilidades do continente se tornar um importante *player* no mercado internacional de biocombustíveis e, em especial, na produção de etanol.

Sob o ponto de vista geopolítico, é relevante a proximidade do continente com o mercado europeu. De fato, afora a possibilidade da produção continental abastecer o crescente mercado africano para o consumo de combustíveis renováveis, é certo que a construção de uma adequada infraestrutura de exportação do produto para a Europa permitirá à África não só economias no consumo de petróleo, mas também ganhos com a exportação do bioetanol combustível.

Todavia, a expansão da produção de bioetanol não é projetada para todos os países africanos, mas para uma região em particular, unida por meio de uma integração econômica, denominada Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral - *Southern African Development Community* (SADC).

O SADC tem como meta não somente a formação de uma área de livre comércio, mas também uma maior cooperação política e uma coordenação econômica, de modo a utilizar os recursos existentes na região para benefício de todos. Assim, a criação de indústrias de base agrícola, como as associadas à produção de bioenergia, são especialmente atrativas para a região, que é predominantemente rural.

A Figura 9.2-5 mostra os países do sudeste africano que compõem o SADC. Alguns deles têm longa experiência no cultivo da cana-de-açúcar, entretanto, comparativamente aos volumes produzidos no mundo, a produção nos países que compõem o SADC é muito pequena, conforme se pode constatar na Tabela 9.2-5.

Contudo, as excelentes condições climáticas encontradas em Malawi, Zâmbia e Zimbábue, assim como a utilização de irrigação e melhorias no sistema produtivo, tem elevado o rendimento das plantações de cana nestes países. Em relação à Tanzânia, a alta produtividade tem sido reflexo de amplos investimentos aplicados na produção de cana-de-açúcar.

Contrariamente, muitas das usinas encontradas em Angola, na República Democrática do Congo, em Madagascar e em Moçambique encontram-se em péssimo estado, tanto devido ao uso excessivo durante os últimos anos, quanto por causa da ausência de investimentos por parte dos produtores.

Porém, o mesmo não é observado em todos os países da região, existindo usinas com excelente processamento industrial e custos suficientemente baixos para competir no mercado mundial de biocombustíveis, ressaltando-se que os países integrantes do SADC assinaram acordos com a UE que asseguram fornecimentos preferenciais de açúcar, frequentemente a preços superiores ao do mercado internacional. Estes acordos têm fomentado a produção e exportação de açúcar por estes

países, que muitas vezes exportam toda sua produção e importam para o consumo doméstico a preços inferiores.

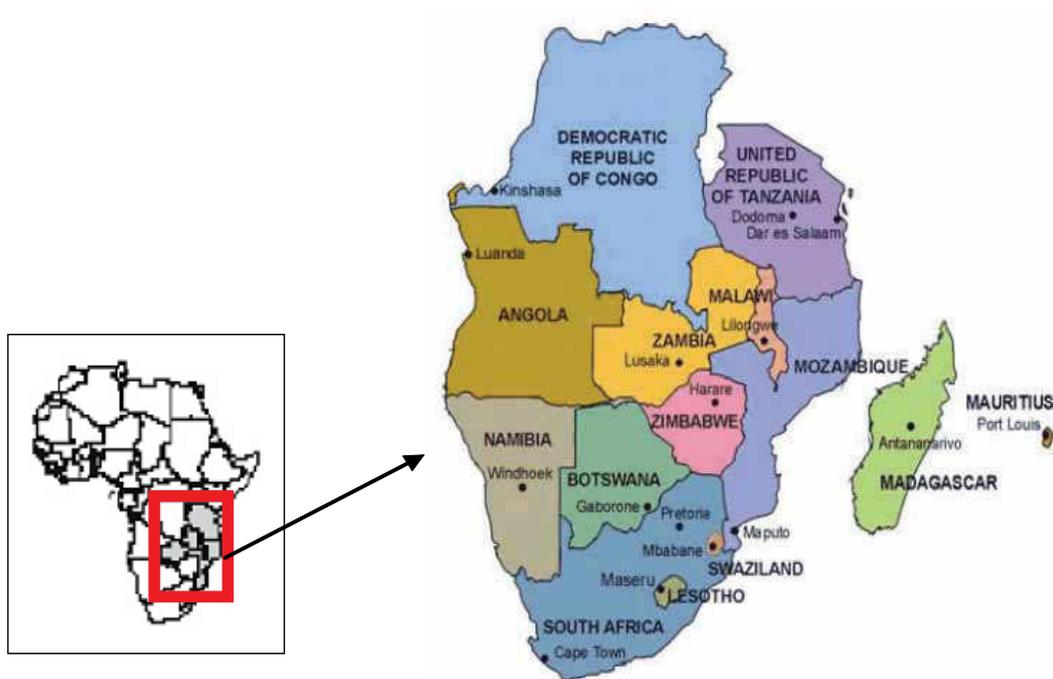


Figura 9-5: Países do Sudeste da África que integram o SADC

Esse pode ser considerado como o motivo principal da região ter destinado sua cultura de cana à produção de açúcar e não etanol. No entanto, esta situação tende a mudar com a nova política da UE em relação ao açúcar.



Tabela 9.2-5: Área colhida, produção, rendimento e porcentagem do total produzido de cana-de-açúcar no SADC e em alguns outros países selecionados, em 2004

| País / região | Área colhida | Produção total | Rendimento Médio | Porcentagem do total produzido | |
|--------------------|---------------|------------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Unidades | 1000 ha | 1000 toneladas de cana | t cana / ha | Porcentagem da área total do SADC (%) | Porcentagem da área total mundial (%) |
| África do Sul | 326 | 20.419 | 63 | 44,8 | 1,5 |
| Angola | 10 | 360 | 38 | 0,8 | |
| Congo | 43 | 1.786 | 42 | 3,9 | |
| Ilhas Maurício | 72 | 5.199 | 73 | 11,4 | |
| Madagascar | 69 | 2.460 | 36 | 5,4 | |
| Malawi | 20 | 2.100 | 105 | 4,6 | |
| Moçambique | 30 | 400 | 13 | 0,9 | |
| Suazilândia | 48 | 4.500 | 93 | 9,9 | |
| Tanzânia | 17 | 2.000 | 118 | 4,4 | |
| Zâmbia | 17 | 1.800 | 106 | 4,0 | |
| Zimbábue | 45 | 4.533 | 101 | 10,0 | |
| Total SADC | 696 | 45.557 | 65 | | 3,4 |
| Austrália | 448 | 36.955 | 83 | | 2,7 |
| Brasil | 5.371 | 396.012 | 74 | | 29,1 |
| Índia | 4.608 | 281.600 | 61 | | 20,7 |
| Tailândia | 1.139 | 74.259 | 65 | | 5,5 |
| Total Mundo | 20.822 | 13.592.120 | 65 | | |

Fonte: Matsika and Johnson, 2006

Como implicações desta alteração, deverão ocorrer reduções nos custos da produção do bioetanol nos países da região, de modo a torná-lo competitivo no mercado mundial.

Em relação específica ao uso de bioetanol misturado à gasolina na região, destacam-se Malawi (E12) e Zimbábue (E10).

9.3. Diretrizes para a elaboração de um marco regulatório para o setor sucroalcooleiro

Conhecidos o histórico do setor sucroalcooleiro, a legislação nacional pertinente, os acordos internacionais e programas de adição mandatória de bioetanol à gasolina relevantes no mundo, bem como o potencial que os mercados de vários países apresentam para o Brasil (face à impossibilidade de produzirem internamente os volumes necessários para atender as demandas projetadas para os próximos anos), apresentam-se a seguir algumas sugestões de diretrizes sobre temas específicos para a elaboração de um possível marco regulatório atualizado para o setor sucroalcooleiro.

Destaca-se que a escolha dos temas aqui abrangidos baseou-se nos principais gargalos encontrados pelo setor, tanto em relação à produção e abastecimento da demanda interna nacional quanto para viabilizar as exportações, a expansão e a consolidação do setor sucroalcooleiro brasileiro em nível mundial.

Assim sendo, elaborou-se um questionário no qual nove temas previamente escolhidos foram pesquisados e devidamente analisados considerando-se as opiniões extraídas de representantes do setor governamental, setor privado, acadêmicos, juristas, ONGs e o ordenamento jurídico vigente no país. A pesquisa realizada entre os diversos atores entrevistados permitiu que as propostas aqui constantes embasassem-se não somente nas aspirações e necessidades de um único setor, mas sim em uma análise quantitativa e qualitativa das opiniões colhidas dos respondentes.

Esclareça-se que aos respondentes, pessoas de notório conhecimento do setor sucroalcooleiro e/ou área de especialidade pesquisada, possibilitou-se anteriormente a inquirição sobre cada um dos temas pesquisados, a autoclassificação em “especialistas”, “não especialistas” ou até mesmo a abstenção de responder ao tema perguntado quando fora de sua área de expertise e/ou interesse ou afinidade com o tema.

Dessa forma, as respostas obtidas puderam ser devidamente quantificadas e qualificadas de acordo com a classificação auto-aplicada pelos respondentes quando da realização das entrevistas embasadas no questionário que serviu de roteiro para a elaboração do presente capítulo.

A metodologia de pesquisa utilizada baseou-se nos critérios requeridos por uma pesquisa com técnica Delphi, que buscam junto a um público qualificado de profissionais um consenso de opiniões que, organizada adequadamente, supera a opinião dos respondentes individualmente considerados.



Os temas abordados são descritos a seguir:

- Intervenção estatal para se garantir o abastecimento interno de bioetanol combustível;
- Estoque de segurança para o bioetanol combustível;
- Fiscalização da produção de bioetanol combustível;
- Transferência da tecnologia de produção de bioetanol para países com baixos níveis de desenvolvimento econômico;
- Criação de um fundo específico para financiar atividades de P&D relativas ao bioetanol combustível;
- Tributação sobre veículos e sobre o bioetanol combustível;
- Especificação da qualidade do bioetanol combustível;
- Certificação da sustentabilidade da cadeia produtiva do bioetanol combustível;
- Fomento financeiro à geração de maiores excedentes de energia elétrica nas unidades de cogeração das usinas sucroalcooleiras.

As diretrizes a seguir propostas são revestidas de imparcialidade, o que possibilita aos tomadores de decisão, ao delas se utilizarem, ter a confiança e a certeza de que representam as opiniões majoritárias de representantes importantes e de renomado saber dos setores governamental e privado, além de acadêmicos, juristas e representantes de ONGs, sobre os temas abordados.

9.3.1. Intervenção estatal para garantir o abastecimento interno de bioetanol combustível

Em relação ao tema concernente à conveniência de intervenção estatal, pode-se considerar que as opiniões dos respondentes que se autocalificaram como especialistas e não especialistas divergiram, tendo os primeiros se expressado majoritariamente contrários e os segundos favoráveis.

No entanto, todos concordaram que qualquer tipo de intervenção a ser eventualmente implementada não teria os mesmos moldes observados na época da existência do Instituto do Açúcar e do Alcool, mas assumiria um caráter contemporâneo. Por meio de um quadro normativo específico para o setor, tentar-se-ia evitar possíveis crises de desabastecimento do mercado interno de bioetanol combustível.

Essa intervenção também não teria o objetivo de suprimir a livre iniciativa dos agentes no mercado, vez que tal estratégia ocasionaria uma nova crise de credibilidade no setor e incerteza jurídica para com os contratos celebrados.

De modo a antecipar-se à possibilidade de intervenção estatal, o setor poderia planejar sua produção, em especial a destinada a atender a demanda doméstica, que merece ser priorizada, por ser o bioetanol um combustível de interesse estratégico para o país. Assim sendo, considerar-se-ia nesse caso a intervenção estatal como último recurso para evitar um possível desabastecimento interno.

Importante ressaltar que vários respondentes do questionário propuseram a criação de um órgão público específico para tratar das questões relativas ao etanol, que, diferentemente do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA), ligado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), teria a participação não só de representantes de governo, como também do setor privado, da sociedade civil (ONGs, sindicatos, etc.) e de especialistas da academia.

Os possíveis mecanismos de intervenção a serem utilizados numa eventual crise de desabastecimento, considerando-se a eventualidade de insucesso das disposições anteriores, poderiam ser, por exemplo:

- o estabelecimento de limites para as exportações, através de autorizações que seriam expedidas anualmente para os vários agentes exportadores;
- a adoção de estoques estratégicos físicos mínimos, que assegurariam uma menor oscilação de preços e uma maior segurança no abastecimento interno;
- a criação de uma tributação diferenciada para as exportações quando o nível dos estoques estiver muito baixo, de modo a desestimular as vendas para o mercado internacional.

9.3.2. Estoques reguladores para o bioetanol combustível

De modo a possibilitar uma melhor compreensão do tema estudado neste item, mister se faz conceituar brevemente os tipos de estoque nele abordados: estoque de segurança e estoque regulador:

Estoque de Segurança ou *Safety Stock* ou Estoque Estratégico Físico – Refere-se à quantidade mantida em estoque para suprir as necessidades em ocasiões em que a demanda é maior do que a esperada, quando a oferta para repor estoque ou de matéria-prima para fabricá-la é menor do que a esperada, e/ou quando o tempo de ressurgimento é maior que o esperado, e/ou quando houver erros de controle de estoque que levam o sistema de controle a indicar mais material do que a existência efetiva.



Estoque Regulador Virtual - Refere-se a uma quantidade determinada previamente para, por meio de contratos em mercados de futuros, se antecipar a uma demanda maior que aquela prevista, fazendo com que a produção ou consumo não sejam prejudicados e mantenham sua regularidade.

Delimitados os tipos de estoque abordados na pesquisa que embasa a diretriz abaixo, possibilitou-se aos respondentes, durante sua realização, optar pela existência de um estoque estratégico físico para o bioetanol combustível ou pela existência de um estoque regulador virtual, destacando-se, logo de início, que estoques físicos e virtuais de bioetanol combustível não são necessariamente mutuamente exclusivos.

Em um eventual uso combinado, o estoque estratégico físico poderia ter o intuito de regular o volume de combustível disponível para suprimento da demanda interna, enquanto o estoque virtual poderia ser usado para regular os preços do combustível no período de entressafra e trazer maior liquidez na celebração de contratos de comercialização do bioetanol em bolsas de mercados futuros.

No entanto, como já era esperado no início dessa pesquisa, o tema concernente à existência de estoques físicos não obteve consenso por parte dos respondentes. A principal razão alegada pelos respondentes contrários à formação deste estoque residiu nos altos custos associados à sua confecção e manutenção.

Em relação à responsabilidade sob quem este deveria recair, embora os não especialistas do setor privado tenham se posicionado favoráveis à implementação de um estoque físico sob responsabilidade do setor privado, a opinião majoritária dos especialistas deste mesmo setor indicou que esta deveria ser uma incumbência pública.

Esse posicionamento também foi observado na maioria das opiniões dos especialistas do setor governamental, destacando-se, no entanto, que alguns respondentes consideraram problemático o gerenciamento público de eventuais estoques de segurança.

Assim, de um modo geral, a incumbência de gerenciar um eventual estoque estratégico físico de bioetanol combustível foi majoritariamente apontado, na pesquisa de opinião, como sendo de responsabilidade do governo, conforme previsto no Decreto nº 94.541, de 1º de julho de 1987.

Em relação aos mecanismos de financiamento para a confecção e manutenção deste estoque, a razão precípua pela qual a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) foi apontada como a principal fonte de recursos, repousou na inviabilidade política de criação de mais um tributo,

vez que elevaria o preço final do combustível para os consumidores e a já elevada carga tributária incidente sobre produtos energéticos no país.

Ademais, a CIDE tem como uma de suas finalidades específicas a confecção e manutenção de estoques, ou seja, o governo a arrecada para que estes sejam implementados.

A sugestão de alguns respondentes de que o financiamento de estoques privados pelo governo poderia se dar com recursos oriundos da CIDE, descaracterizaria a finalidade desta última, uma vez que isto consistiria em um empréstimo para os empresários do setor, com incidência de juros e correção monetária. Saliente-se que recursos da CIDE não podem ser utilizados com tal propósito.

Ressalta-se que a existência de um estoque de segurança diminuiria a probabilidade de uma intervenção estatal, já que o governo, em caso de risco de desabastecimento do mercado interno, despejaria no mercado os volumes estrategicamente armazenados.

Em relação aos estoques virtuais, a maioria dos respondentes, em todos os setores consultados, apontou para a necessidade de sua existência, tanto para regular preços, como para dar maior liquidez aos contratos celebrados em bolsas de mercados futuros. Destaca-se a sugestão de vários respondentes de que os contratos mais adequados seriam os do tipo “opções”.

9.3.3. Fiscalização da produção de bioetanol combustível

A suspeita de existência persistente de um nível elevado de sonegação fiscal aponta para a necessidade de se melhorar substancialmente a fiscalização da produção de bioetanol no país.

A instalação de medidores de vazão, nos moldes do implementado nas cervejarias, auxiliaria significativamente a determinação dos volumes produzidos em cada usina/destilaria.

Embora a fiscalização da qualidade do bioetanol seja uma das atribuições da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sugere-se que, devido à grande extensão territorial do país e ao número reduzido de funcionários da agência, esta realize convênios com os municípios onde existam usinas/destilarias, para que funcionários das prefeituras realizem esta fiscalização em seus respectivos limites territoriais. Uma outra possibilidade são convênios com as secretarias da fazenda estaduais, que têm interesse próprio nessa fiscalização para combater a sonegação fiscal.



9.3.4. Transferência da tecnologia de produção de bioetanol para países com baixos níveis de desenvolvimento econômico

Os dados obtidos na pesquisa de opinião realizada foram unânimes em apontar que o governo brasileiro deveria apoiar fortemente a transferência de tecnologia de produção de bioetanol para países menos favorecidos como, por exemplo, os situados no continente africano, o que poderia auxiliar significativamente o desenvolvimento econômico destes, e a difusão internacional do bioetanol como combustível.

Essa transferência de tecnologia, além de evidentemente interessar aos fabricantes nacionais de equipamentos para usinas e destilarias, também pode representar oportunidades de parcerias para os usineiros, que poderiam ampliar sua produção tornando-se empresas transnacionais.

Entretanto, vários respondentes do questionário apontaram que a transferência de tecnologia *per se* não será suficiente para viabilizar a produção de bioetanol em vários países com baixos níveis de desenvolvimento. Além dos requisitos óbvios de necessidade de programas de treinamento, essa transferência terá de contar com o desenvolvimento de mecanismos regulatórios, e de logística e infraestrutura, de modo a viabilizar o escoamento da produção a ser instalada.

Conclui-se, portanto, que a transferência de tecnologia não deve ser vista só como um meio de se expandir a venda de maquinário e a obtenção de divisas, ou a realização de joint ventures no exterior, mas sim como uma estratégia de consolidação do mercado do etanol, a ser implementado no médio e longo prazos, que se não for seguida, poderá retardar a transformação do bioetanol combustível em uma *commodity* global.

9.3.5. Criação de um fundo específico para financiar atividades de P&D relativas ao bioetanol combustível

Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para o interesse de se criar um fundo específico para financiar atividades de P&D relativas ao bioetanol combustível.

Como principal fonte de financiamento deste fundo sugere-se a utilização de parte dos recursos arrecadados com a CIDE Combustível. Todavia, como não há incidência da CIDE sobre o bioetanol e supondo uma menor arrecadação futura desta, frente à diminuição do consumo de gasolina no território brasileiro, os respondentes também sugerem que este fundo receba recursos oriundos do

orçamento federal, pelo fato da produção, venda para o mercado interno e exportação de bioetanol combustível serem hoje consideradas estratégicas para o país.

Ressalta-se que embora não haja previsão legal para a utilização da CIDE com esta finalidade específica, a atratividade é grande, pois a aplicação de percentual moderado dos recursos por ela obtidos seria suficiente para aumentar consideravelmente os recursos para fomento da pesquisa tecnológica nesse campo no Brasil, permitindo fazer face aos altos investimentos realizados por outros países, principalmente industrializados, especificamente para viabilizar a produção de bioetanol de material lignocelulósico.

Assim sendo, a existência de um fundo específico para projetos de P&D relativos ao bioetanol combustível asseguraria que a atual vantagem competitiva de produção de bioetanol no Brasil se mantenha ao longo do tempo, uma vez que há uma necessidade premente de realização de pesquisas intensas para viabilizar a produção de bioetanol proveniente de material lignocelulósico. Investimentos significativos nestas pesquisas, assim como as relativas à álcoolquímica e biorrefinarias, devem merecer uma alta prioridade por parte dos agentes responsáveis pelo estabelecimento de políticas públicas nesta área.

9.3.6. Tributação sobre veículos e sobre o bioetanol combustível

Embora a tributação de biocombustíveis seja complexa e, como já foi dito, suspeita-se da existência de uma alta incidência de sonegação fiscal, tanto na produção quanto na distribuição do etanol, deu-se prioridade, nesta pesquisa, a dois tributos específicos, ambos de competência estadual, quais sejam, o IPVA e o ICMS.

A respeito do IPVA incidente sobre os veículos tipo *flex fuel* especificamente, dois fatores embasaram as opiniões dos respondentes: o mercadológico e o ambiental.

Os respondentes contrários à definição de uma alíquota diferenciada mais baixa para os veículos tipo *flex fuel* argumentaram que este tipo de automóvel constitui-se em um sucesso de vendas e, portanto, não necessita de incentivos fiscais para estimular sua aquisição pelos consumidores.

Outros respondentes, favoráveis a alíquotas de IPVA inferiores para tais carros, justificaram suas opiniões com base no raciocínio que veículos que consomem combustíveis renováveis e menos poluentes devem ser estimulados, sobretudo em grandes centros urbanos como Rio de Janeiro, São Paulo e outras metrópoles.



O efeito líquido foi que a maioria das opiniões dos respondentes apontou para a conveniência de criação de alíquotas específicas, mais baixas do que as dos carros que só consomem gasolina, para os veículos do tipo *flex fuel*.

Em relação ao ICMS, verificou-se que a existência de alíquotas sobre o bioetanol combustível diferenciadas por estado desestimula a implantação de usinas e destilarias nos estados onde estas são mais altas. Essa tendência acaba por concentrar ainda mais a produção de bioetanol no estado de São Paulo.

Essa diferenciação também acarreta deslocamentos desnecessários e uma alta incidência de sonegação fiscal, principal fator que levou à redução da alíquota no estado de São Paulo para 12%.

Assim sendo, perguntou-se no questionário se seria interessante a equalização das alíquotas de ICMS sobre o bioetanol combustível nos diferentes estados brasileiros.

Embora os respondentes tenham tido plena consciência de que a diminuição das alíquotas representaria uma redução da arrecadação nestes estados, eles vêem que a equalização do ICMS tem de ser feita dentro de uma reforma tributária geral. Esta é necessária e inevitável, mais cedo, ou mais tarde.

Assim, conclui-se, em relação ao ICMS, que os estados devem trabalhar para que as alíquotas sejam unificadas e, conseqüentemente, diminuir a incidência de sonegação fiscal diretamente relacionada a este imposto.

Quanto aos demais tributos que foram abordados na pesquisa, destacaram-se o PIS e o COFINS, que embora tenham sido reduzidos à zero, ainda carecem de regulamentação, para que não mais incidam sobre o preço dos combustíveis.

Quanto ao total de impostos incidentes sobre o etanol, poder-se-ia fazer com que fossem cobrados somente junto ao produtor, ou junto ao distribuidor, e não em ambos, como ocorre atualmente.

9.3.7. Especificação da qualidade do bioetanol combustível

Outro grande problema percebido em relação ao bioetanol combustível consiste na adulteração de sua qualidade em diversos estados brasileiros.

A inadequação da qualidade consiste no não atendimento das especificações determinadas pela ANP. A adulteração mencionada acima tem sido praticada através da adição de solventes e da co-

mercialização do “álcool molhado”, resultante da adição de água ao álcool anidro. Para combater esta adulteração, decidiu-se adicionar o “corante laranja” ao álcool anidro, a partir do início de 2007, para facilitar sua identificação e, assim, inibir a prática anteriormente mencionada.

Destarte os problemas já mencionados, para se incrementar ainda mais as exportações do bioetanol combustível produzido no Brasil, mister se faz que seja estabelecida uma especificação para sua qualidade que viabilize as exportações, ou seja, que sejam determinados os parâmetros a serem atendidos por todos os países produtores, sobretudo para que o bioetanol possa ser comercializado em bolsas de mercados futuros.

De modo a contemplar as exigências do mercado internacional, a pesquisa apontou para a necessidade de desenvolvimento de uma especificação para o bioetanol que atenda aos requisitos internacionais. Esta especificação também deveria ser aplicada ao mercado interno.

Outro resultado do levantamento de opiniões é que não deve haver uma diferenciação da produção para abastecer o mercado doméstico e o internacional.

Os respondentes apontaram a ANP, o Inmetro e a ABNT como os órgãos que deveriam ser responsabilizados pelas especificações destes novos padrões de qualidade.

Entretanto, vários participantes da pesquisa destacaram que o Brasil, hoje o maior exportador de bioetanol no mundo, e os Estados Unidos, que ultrapassaram recentemente o Brasil como o país maior produtor mundial de etanol, a partir do milho, devem tomar a iniciativa no estabelecimento dos novos padrões a serem adotados internacionalmente.

9.3.8. Certificação da sustentabilidade da cadeia produtiva do bioetanol combustível

A opinião majoritária dos respondentes apontou para a necessidade de desenvolvimento, por parte do governo brasileiro, de um sistema de certificação sócioambiental para a cadeia produtiva do etanol. A inexistência desta certificação, de acordo com eles, poderá se constituir em uma barreira não tarifária para a entrada do bioetanol brasileiro no mercado internacional.

Assim sendo, o governo deveria trabalhar em conjunto com o setor privado, sociedade civil (sindicatos, associações de classe, etc.) e ONGs no desenvolvimento dos parâmetros e indicadores desta



certificação que, embora específica para o bioetanol combustível, poderia basear-se em selos e normas já existentes.

Note-se que esta certificação deve ser aplicada por órgãos de 3ª parte, quais sejam, certificadoras independentes.

No caso do Brasil, aponta-se para a existência de um quadro normativo suficiente para a elaboração de um sistema de certificação. As não conformidades referentes à eventual existência, mesmo que marginal, de desmatamento e trabalho infantil ou escravo devem-se a uma fiscalização ineficiente observada no território nacional que deve ser melhorada, não somente para garantir a expansão das exportações do setor sucroalcooleiro, como para garantir que as atividades agropastoris desenvolvidas no país observem boas práticas e requisitos de sustentabilidade.

9.3.9. Fomento financeiro à geração de maiores excedentes de energia elétrica nas unidades de cogeração das usinas sucroalcooleiras

Considera-se necessária a existência de incentivos financeiros para que as usinas e destilarias modernizem seus parques geradores de energia elétrica.

Embora o BNDES possua uma linha de crédito específica para a aquisição de caldeiras eficientes de alta pressão que permitem a geração de mais excedentes de energia elétrica no setor sucroalcooleiro, muitas dos proprietários das usinas e destilarias existentes não têm a aquisição de tais caldeiras como um de seus objetivos na expansão da produção.

Além disso, muitas das caldeiras existentes nas usinas e destilarias ainda não atingiram o tempo de vida necessário para que precisem ser substituídas.

A substituição de caldeiras ineficientes, por outras capazes de gerar mais excedentes de energia elétrica, poderia ser incentivada se os preços pagos pela energia gerada em leilões específicos para esta tecnologia, fossem compensatórios. Tal qual já está sendo praticado com outras tecnologias de geração, esses leilões específicos para excedentes de cogeração a partir da biomassa deveriam ser organizados de uma forma separada para a “energia velha”, gerada em instalações total ou parcialmente amortizadas, e para a “energia nova”, a ser produzida em plantas novas e eficientes com elevada capacidade de geração de excedentes.

9.4. Considerações finais

As inúmeras políticas internacionais de fomento ao uso e produção de etanol, a ampliação dos parques e capacidades produtivas de bioetanol no Brasil e outros países sediados nos cinco continentes do planeta, aliadas a maiores preocupações ambientais relacionadas às mudanças climáticas anunciadas, necessidade de redução de gases de efeito estufa e seguridade energética sinalizam para que a expansão da oferta e consumo de bioetanol o consolidem como o principal biocombustível a ser utilizado em substituição à gasolina e derivados no mundo.

O Brasil destaca-se neste contexto, por possuir mais de 30 anos de experiência e *know-how* na produção do bioetanol combustível e cultivo de cana-de-açúcar, constituindo-se no principal país produtor capaz de suprir parte da demanda mundial pelo combustível no curto e médio prazo.

Todavia, a expansão da oferta e consumo para atendimento da demanda interna e externa não deve se pautar apenas em novas tecnologias produtivas, mas também em um quadro regulatório eficiente que permita ao setor produtivo a autogestão e a capacidade de negociação, e ao setor governamental; o desenvolvimento de políticas que assegurem o abastecimento interno, a produção de excedentes de energia elétrica, a sustentabilidade da produção, a qualidade do produto e um sistema tributário compatível com a vasta extensão territorial e necessidades de arrecadação fiscal estaduais, tudo dentro de um planejamento indicativo nos termos da Constituição vigente.

Por fim, há de se ter em mente que os temas tratados neste capítulo não se esgotam com este estudo, nem tampouco tendem a ser definidos a curto prazo, posto que as opiniões dos respondentes que embasam as diretrizes aqui expostas não são uníssonas e dependem de exaustivas negociações a serem realizadas entre o setor governamental e o privado e, em alguns casos, com outros países, como por exemplo, da especificação da qualidade do produto para consolidação do bioetanol como uma *commodity*.



Referências bibliográficas

- ANFAVEA, Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), São Paulo, SP, 2007.
- ANP, Combustíveis no Brasil: Política de Preços e Estrutura Tributária, Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural (ANP), Rio de Janeiro, RJ, 2001. Disponível em http://www.anp.gov.br/doc/notas_tecnicas/. Acesso em 15 de jan. 2007.
- ANP, Resolução nº 36, de 6 de dezembro de 2005, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Rio de Janeiro, RJ, 2005. Disponível em <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 15 de jan. 2007.
- ANP, Resolução nº 5, de 13 de fevereiro de 2006, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 15 de jan. 2007.
- ANP, Estrutura de Formação de Preços, Agência Nacional do Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural (ANP), Rio de Janeiro, RJ, 2007. Disponível em: http://www.anp.gov.br/petro/estrutura_precos.asp. Acesso em 23 fev. 2007.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT – Department of Industry, Tourism and Resources, Government Biofuels Initiatives. Last updated 12/07/2005, www.industry.gov.au.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT – Department of Industry, Tourism and Resources, Ethanol Production Grant. Last updated 13/04/2005, www.industry.gov.au.
- BAJAY, S. V. E FERREIRA, A. L., A energia da biomassa no Brasil. In: Rosillo-Calle, F., Bajay, S. V. e Rothman, H. (editores), *Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira*, Editora da Unicamp, Campinas, SP, pp. 69-120.
- BAJAY, S. V. E WALTER, A. C. S. - Relatório Técnico da Fase 8: Revisão crítica dos procedimentos de planejamento determinativo utilizados pelo setor elétrico brasileiro, à luz das novas necessidades surgidas com a abertura do setor no País, que envolvem a implantação de uma nova forma de planejamento setorial, o indicativo, Projeto de Pesquisa sobre “Setor elétrico: ferramentas e metas do planejamento indicativo e instrumentos regulatórios associados” (Meta 2), Convênio ANEEL / FUNCAMP sobre “Regulação de Mercados de Energia Elétrica”, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, UNICAMP, setembro de 1999, 162 pags.
- BIOENERGY REVIEW – F.O. Lichts, *World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook*. Dr. Christoph Berg – April 2004.

- CLEAN FUELS DEVELOPMENT COALITION (CFDC), A Guide to the New Tax Law: Changes in Tax Incentives for Ethanol and Biodiesel, 2005
- COPERSUCAR, A História do Açúcar no Mundo. A História do Açúcar no Brasil, Academia do Açúcar e do Álcool, www.copersucar.com.br
- CRS ISSUE BRIEF FOR CONGRESS, Clean Air Act Issues in the 109th Congress. June 28, 2005 – by James E. McCarthy, Resources, Science, and Industry Division - Congressional Research Service, The Library of Congress.
- DATAGRO, Informativo reservado quinzenal sobre a indústria sucroalcooleira, nº 2 P, 2002.
- DUBEUX, C. B. S. E SIMÕES, A. F., Mercado internacional de créditos de carbono. In: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Mudança do Clima. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, v. 2, p. 3, p.57-113, 2005.
- ESCOBAR, M. R., Viabilidade econômico-financeira da energia co-gerada do bagaço de cana in natura. *Informações Econômicas*, v.33, n.9, setembro de 2003.
- FARAGO, J., Biotechnological tools to improve ethanol production from plant biomass. Disponível em: [HTTP://ns.ucm.sk/FPV/katedry/biotechnolog/journal_nova_biotechnologica_7_1/Farago2007.pdf](http://ns.ucm.sk/FPV/katedry/biotechnolog/journal_nova_biotechnologica_7_1/Farago2007.pdf). Acesso em set. de 2009.
- FURTADO, A. T., Energie de la Biomasse et Style de Developpement – Les Leçons du Programme Proálcool au Brésil, thèse de doctorat, Université de Paris I Pantheon-Sorbonne, 1983.
- <http://www.mapa.gov.br>, acessado em março de 2007.
- <http://www.mme.gov.br>, acessado em maio de 2007.
- INTERNATIONAL ETHANOL CONFERENCE (2005) – Renewable Fuels Australia (RFA), Ethanol – An Industry Policy Perspective. Brisbane Queensland, 9-10 May 2005.
- JBIC, Estudo Prospectivo para Fomento dos Biocombustíveis no Brasil, Banco de Cooperação Internacional do Japão, Relatório Final, Brasília, DF, 2006.
- KOVARIK, B., Henry Ford, Charles Kettering and “Fuel of the Future”. *Automotive History Review*. Spring, 1998. n. 32. p. 7-27. Disponível em: <http://www.radford.edu/wkovarik/papers/fuel.html>. Acesso em: 07 set. 2009.
- MACEDO, I.C. E NOGUEIRA, L.A.H., Avaliação da Expansão da Produção de bioetanol no Brasil, Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=1833>. Acesso em 02 de fev. 2007.



- MARIOTONI, M.A., O Desenvolvimento Tecnológico do Setor Sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (1975-1985), dissertação de mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2004.
- MCT, Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8848.pdf. Acesso em 14 de fev. 2007.
- MDIC, Tarifa Externa Comum. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/secex/negInternacionais/tec/apresentacao.php>. Acesso em: 15 de fev. 2007.
- MELO, F. H. E FONSECA, E. G., Proálcool, Energia e Transportes, Pioneira, FIPE, São Paulo, 1981.
- MORAES, M.A.F.D., A Desregulamentação do Setor Sucroalcooleiro no Brasil, Americana, São Paulo, Caminho Editorial, 2000.
- NAE, Biocombustíveis, Cadernos NAE, número 2, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE), Brasília, janeiro de 2005.
- OLIVEIRA, J. G., Perspectivas para a Cogeração com Bagaço da Cana de Açúcar: Potencial do Mercado de Carbono para o Setor Sucroalcooleiro Paulista. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.
- PAMPLONA, C., Proálcool – Impacto em Termos Técnico-Econômicos e Sociais do Programa no Brasil, Instituto do Açúcar e do Alcool, Ministério da Indústria e Comércio, Belo Horizonte, 1984.
- PIACENTE, E. A., Perspectivas do Brasil no Mercado Internacional de Etanol, dissertação de mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006, 185 p.
- RFA. Renewables Fuel Association. Changing the Climate. Ethanol Industry Outlook, 2008. Disponível em: www.ethanolrfa.org. Acesso em: 07 set. 2009.
- ROCHA, M. T., Aquecimento Global e o Mercado de Carbono: Uma Aplicação do Modelo CERT. 196 f. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ROSILLO-CALLE, F. AND WALTER, A., Global market for bioethanol: historical trends and future perspectives, Energy for Sustainable Development, 10(1): 20-32, 2006.

- SCANDIFFIO, M. I. G., *Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil – Cenários 2004-2024*, tese de doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005, 200 p.
- SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DE SÃO PAULO, Alíquotas de IPVA. Disponível em: <http://www3.fazenda.sp.gov.br/ipvanet/aliquota.asp>. Acesso em: 20 de fev. 2007.
- SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Alíquotas de IPVA. Disponível em: <http://www.sefaz.rj.gov.br/informacao/ipva/orientacaoaocontribuinte.shtml#14>. Acesso em 20 de fev. 2007.
- SCHOCHANA, F. Contrato futuro de etanol. Seminário Perspectivas para o Agribusiness 2007 e 2008. Disponível em: http://www.bmf.com.br/portal/pages/imprensa1/destaques/2007/abril/Apresentacoes_Seminario2007/05_Felix_Schochana-ETANOL.pdf. Acesso em março de 2007.
- SINDICOM, Apresentação no Ethanol Summit. Disponível em http://www.sindicom.com.br/pub_sind/media/ppt-alisio-ethanol-summit.pdf. Acesso em 15 de jul. 2007.
- SOUZA, R. R., *Panorama, Oportunidades e Desafios para o Mercado Mundial de Álcool Automotivo*, dissertação de mestrado em planejamento energético, Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/raquelrs.pdf>. Acesso em 10 de jan. 2007.
- UNFCCC, CDM Project Activity – Registered, Project 0193:HFC23 – Decomposition Project of Zhejiang Juhua Co, Ltd, P.R. China. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/Project/DB/DNV-CUK1135255248.44/view.html>. acesso em 15 jan. 2007.
- UNICA, *Produção e Uso do bioetanol Combustível no Brasil*, União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: http://www.portalunica.com.br/portalunica/files/referencia_publicacoes_livros-3-Arquivo.pdf. Acesso em 20 de jan. de 2007.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY – Energy Efficiency and Renewable Energy – Alternative Fuels Data Center, State and Federal Incentives and Laws, July 2005. www.eere.energy.gov.
- WEDEKIN, I., A hora e a vez dos mercados futuros no Brasil. Seminário Perspectivas para o Agribusiness 2007 e 2008. Disponível em : http://www.bmf.com.br/portal/pages/imprensa1/destaques/2007/abril/Apresentacoes_Seminario2007/04_Ivan_Wedekin-Mercados_Futuros.pdf. Acesso em março de 2007.
- WORLD ENERGY OUTLOOK, 2008 - <http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp>
- WORLD ETHANOL & BIOFUELS REPORT – F.O.LICHTS, 8 February 2005, Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies.

The background features a lush green cornfield. Overlaid on this is a semi-transparent network diagram consisting of circular nodes connected by lines, symbolizing interconnectedness or a research network. A solid green vertical bar is positioned on the right side of the page.

Identificação das
necessidades de P&D
e sugestão de alternativas
para o seu financiamento



10. Identificação das necessidades de P&D e sugestão de alternativas para o seu financiamento

Neste capítulo, são identificadas as áreas mais propícias para investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, particularmente para a nova indústria de energia a partir da cana-de-açúcar que está surgindo e que já responde hoje por 15% da oferta primária de energia no país. Examina-se, também, a criação de um fundo de desenvolvimento para o etanol, com a sugestão de fontes de recursos.

Como a implicação maior da produção de grandes volumes de bioetanol e bioeletricidade é amenizar o aquecimento global no planeta e tem como mérito aproveitar uma excelente oportunidade de desenvolvimento que se apresenta para o país, não se pode simplesmente replicar ou multiplicar o modo de produção existente hoje, que certamente não satisfaz as exigências da nova indústria que está nascendo. Os incentivos deverão ser oferecidos a projetos que envolvam a aplicação de tecnologia de ponta, de modo a garantir a competitividade futura do setor e sua sustentabilidade.

Em uma breve análise das eficiências envolvidas no processo de fotossíntese, estima-se que a eficiência máxima possível de produtividade para a cana deva estar próxima de seu limite superior; atualmente, há relatos de produtividades próximas de 100 t/(ha.ano), produzindo 8.800 l de álcool (38 bep) sem o uso de bagaço e palha, que correspondem a 2/3 da fitomassa. Isto mostra que aumento de produtividade da cana deverá ser obtida por intermédio da hidrólise da fibra, pois já se atingiu um excelente nível de produtividade em açúcar.

As áreas mais propícias para investimentos em P&D foram divididas em quatro: agrícola, industrial, energética e sustentabilidade. Sugere-se que estes investimentos devam priorizar:

- **Área Agrícola:** incentivos a projetos que visem à produção sustentada de cana, tais como, plantio direto, fim das queimadas, recuperação da palha, desenvolvimento de novas variedades e da cana-de-energia.
- **Área Industrial:** incentivos às tecnologias mais eficientes, que reduzam as perdas no processo, reduzam custos e as emissões de poluentes (gases e resíduos líquidos).

- **Área Energética:** incentivos a projetos que otimizem a geração e uso de energia, com sistemas de geração mais modernos e uso econômico do vapor no processo.
- **Área de Sustentabilidade:** estímulo a projetos com áreas de preservação ambiental e da biodiversidade, que melhorem os indicadores ambientais e que reduzam os impactos negativos da produção sobre os recursos hídricos, solo e ar, assim como melhoria do ambiente de produção.

Pelas razões apontadas neste estudo, há uma grande necessidade de investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, como também se faz absolutamente necessária a criação de um centro de pesquisas em etanol, que tenha a tarefa de construir as bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis que está nascendo no mundo e que encontra no Brasil um grande referencial e potencial.

10.1. Áreas mais Propícias de P&D na Cadeia Produtiva Cana-Etanol

A metodologia empregada para a identificação das áreas de maior impacto para pesquisas no setor sucroalcooleiro foi baseada em reuniões com grupos de trabalho formado por especialistas nos respectivos temas.

A cadeia produtiva cana-etanol foi dividida em áreas consideradas chave na produção de bioetanol e usando como ferramenta básica a planilha de custo de produção global de bioetanol (áreas agrícola e industrial). Estas quatro áreas são: agrícola, industrial, energética e sustentabilidade.

A área agrícola abrange desde as questões de engenharia agrônômica (variedades, controles fitossanitários, sistema de produção) e engenharia agrícola (novos sistemas de plantio, colheita, transporte, uso dos resíduos), enfim, uma nova concepção de todo o novo sistema “cana para energia”.

A área industrial, hoje ainda concebida para basicamente produzir açúcar, necessita ser transformada para atender as exigências de uma indústria que se transforma e outra que nasce. Os conceitos que valem hoje vão sendo modificados, devendo gerar também um novo “padrão industrial”. Nesse particular, vale dizer que o uso integral da cana para a produção de bioetanol e eletricidade deverá nortear as tecnologias futuras, reformulando toda a indústria.

Na área energética, aqui entendida de forma geral como o balanço energético global, a maximização dos seus principais fluxos de saída (etanol e energia elétrica) e minimização dos fluxos de entrada



(menor uso de energia nos processos) recebe atenção especial, pois é justamente nessa área que se consegue uma diferenciação expressiva da cana em relação ao milho e outras matérias-primas.

Quanto à sustentabilidade, sabe-se que, embora os indicadores presentes sejam bastante atraentes, principalmente quando se compara o bioetanol produzido a partir da cana com o produzido a partir do milho, muito ainda pode ser melhorado. Hoje discute-se uma nova indústria do bioetanol com proporções muito maiores da indústria sucroalcooleira existente no país. Portanto, esta nova indústria irá requerer um novo padrão ambiental de produção, o que se traduz na melhora de seus indicadores sociais, econômicos e ambientais.

Finalmente, também são indicadas áreas de investimento em P&D no uso final do bioetanol combustível. Entende-se que um grande esforço ao longo de toda a cadeia produtiva deve ser acompanhado de um ganho de eficiência dos motores e outras aplicações.

Assim, são listadas, a seguir, as áreas mais propícias de P&D&I ao longo da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, do processamento e do uso do etanol:

Área Agrícola

1. Desenvolvimento de técnicas para mapeamento de solos agrícolas;
2. Pesquisa sobre a interação entre variedade de solo e a disponibilização de mapas de solos detalhados;
3. Otimização de recursos hídricos acumulados no solo; técnicas de plantio e variedades mais adequadas com o intuito de tirar melhor proveito da água acumulada no solo;
4. Desenvolvimento de novos sistemas de plantio e manejo do canavial, redefinir conceito de soqueira (hoje, geralmente com 5 a 6 cortes), safra e reforma do canavial, visando menor custo, menor compactação e maior disponibilidade da matéria-prima ao longo do ano;
5. Melhoramento genético de cana-de-açúcar: a) a partir de técnicas convencionais e/ou de engenharia genética; b) redução do tempo de obtenção de novas variedades; c) variedades mais resistentes a pragas e a secas; d) enfoque na maximização da produção de energia (cana-de-energia); e) para o cultivo em regiões brasileiras não tradicionais em cana (áreas selecionadas no projeto), como áreas de cerrado (MS, MT, GO, BA, TO, MA, PI);
6. Desenvolvimento de técnicas para manejo de pragas e nematóides;
7. Pesquisa no controle biológico de pragas;
8. Pesquisa sobre a rotação de culturas e seus impactos, tanto do ponto de vista ambiental como da fertilidade do solo;

9. Desenvolvimento de novos sistemas de colheita crua (sem queimar) e aspectos agrônômicos da palha deixada no campo: sistemas mais econômicos, com menor compactação do solo e com melhor qualidade da matéria-prima (cana e palha) para uso industrial; visão integrada da produção agrícola e industrial;
10. Recuperação da palha originada da colheita de cana crua (sem queimar), tecnologias de recuperação e transporte;

Área Industrial

11. Desenvolvimento de sistemas de limpeza a seco da matéria-prima;
12. Processamento da cana-de-energia dentro da filosofia que tanto os açúcares como as fibras serão utilizados para a produção de álcool e eletricidade;
13. Desenvolvimento de processos de preparo da cana e extração do caldo para canas de alta fibra (relação fibra/açúcar maior que 2): extração hidrodinâmica, difusão, desfibradores ultra pesados, etc.; otimização dos processos de extração tendo como objetivos passar das eficiências de extração atuais (96,3%) para metas de 97,5-98%; idem para redução do consumo energético associado aos processos de preparo e extração;
14. Desenvolvimento da tecnologia de hidrólise (ácida e enzimática): a) pré-tratamento da matéria-prima; b) obtenção de enzimas; c) otimização energética; d) integração das unidades de hidrólise à destilaria; e) infraestrutura de simulação de processos;
15. Otimização da produção de álcool dos açúcares e das fibras de forma combinada (estudar as alternativas separando-se os açúcares ou processando-se açúcares e fibra simultaneamente);
16. Reformulação dos processos de fermentação de mosto atuais (fermentação em batelada alimentada e fermentação contínua multiestágio, ambos com reciclagem de fermento) afim de atingir um processo estável, independente da qualidade da matéria-prima e das condições climatológicas (chuva, geada, etc), robusto no que se refere à resistência a contaminações, floculações, estabilidade da populações de fermento, operando a temperatura uniforme, e com alta taxa de conversão de açúcares a etanol, grau alcoólico elevado, perdas de ART e fermento minimizadas;
17. Estudo de alternativas ao processo de fermentação anteriormente citado, tais como: processos com leveduras floculantes, processos com fermento imobilizado, processos de fermentação extrativa a vácuo ou através do emprego de solventes; todas estas alternativas de substituição devem percorrer as rotinas de validação (passagem de laboratório à bancada, à piloto e à escala de demonstração) com avaliações técnicas e econômicas intermediárias;
18. Desenvolvimento genético de cepas e leveduras com maior poder de conversão e tolerância alcoólica, termo-tolerância, resistência à floculação;



19. Redução da temperatura de fermentação ou desenvolvimento de população fermentativa, altamente adaptada a temperaturas elevadas, e agressiva em relação às outras populações termotolerantes;
20. Redução do consumo do ácido sulfúrico em curto e médio prazo e desenvolvimento de alternativas para substituição do mesmo; eliminação do emprego de antibióticos, desenvolvimento de alternativas ao emprego de antibióticos;
21. Redução do custo da centrifugação no reciclo celular, porém mantendo sob controle as perdas de fermento e a rejeição de bactérias e sólidos;
22. Padronização dos métodos de análise da fermentação e propostas de outros processos alternativos aos atuais;
23. Redução da produção de vinhaça;
24. Rotas para o tratamento da vinhaça: concentração por membranas, concentração térmica e cristalização de sais associada, biodigestão (mesofílica, termofílica e ultratermofílica e remoção do enxofre da vinhaça), remoção de sais da vinhaça por eletrodialise reversa, combustão da vinhaça concentrada;
25. Redução do consumo de vapor na produção de álcool: uso de membranas (pervaporação e permeação de vapores), destilação multiefeito, destilação a vácuo, recompressão térmica e mecânica de vapores (vapor de processo e vapores hidroalcoólicos), etc.;
26. Otimização energética do complexo de produção de álcool (convencional, hidrólise, Fisher Tropsch, outros produtos), redefinir processo para produção de energia (etanol e energia elétrica) sem a produção de açúcar;
27. Substituição de insumos químicos derivados do petróleo por derivados da cana (renováveis): alcoolquímica, sucroquímica e outros produtos da cana (ceras, esteróis, aproveitamento terciário da levedura, etc.);
28. Infraestrutura para armazenagem, transporte e exportação do álcool;
29. Desenvolvimento de matrizes (ou modelos de cálculo) de custo de produção de bioetanol capaz de avaliar e validar o avanço do desenvolvimento da tecnologia, decidir quanto a rotas a adotar, prioridades em pesquisa e desenvolvimento e quantificar os resultados de programas de P&D;

Área Energética

30. Ampliação da produção de bioeletricidade com máximo aproveitamento energético da cana-de-açúcar por meio de bagaço, palha, pontas, folhas, co-produtos e vinhaça;
31. Produção de biogás a partir da vinhaça;
32. Desenvolvimento de processo BIG/GT (produção de energia a partir da gaseificação da biomassa da cana) para operação ao longo de todo ano;

33. Integração do excedente de bioeletricidade produzida pelas usinas com o sistema hidro-elétrico de potência existente no país;
34. Desenvolvimento de centrais elétricas adequadas à forma de produção e necessidades de distribuição da energia elétrica produzida nas usinas;
35. Otimização energética das usinas e destilarias;
36. Desenvolvimento do processo de hidrólise do bagaço, estendendo a tecnologia para a palha;
37. Desenvolvimento de caldeiras que possam operar com alta temperatura usando palha como combustível, considerando o alto teor de álcalis e baixo ponto de fusão das cinzas;

Sustentabilidade

38. Instalação de sistemas eficientes de captação, remoção e valorização de substâncias que possam poluir o ar e o ambiente, tais como material particulado, NO_x, SO_x, CO, etc.;
39. Otimização do uso da água nas usinas e destilarias, redução da captação, reaproveitamento de correntes de processo, otimização dos sistemas de resfriamento para redução do consumo por resfriamento evaporativo, estabelecimento do gerenciamento da captação de água e de metas de redução;
40. Eliminação dos impactos originados pela combustão de fósseis (gás, petróleo ou carvão) durante as etapas de extração, transformação, transporte e combustão existentes nos processos de produção de energia térmica, beneficiando a atmosfera, o solo, água, fauna e flora;
41. Pesquisa sobre rotação de cultura, buscando a preservação da fertilidade do solo; iniciativas de controle da erosão do solo em todas as formas, evitando assoreamento de cursos de águas e bacias de acumulação. Otimização no uso de fertilizantes para proteção tanto do solo quanto dos aquíferos subterrâneos;
42. Intensificação da proteção e recuperação ambiental: aquíferos, várzeas, matas ciliares, reflorestamento com essências nativas, corredores de biodiversidade, etc.;

Uso Final

43. Otimização do uso do álcool combustível: a) otimização dos motores para uso do álcool (FFV, injeção direta, outros); b) uso do álcool em motores diesel (caminhões, ônibus, tratores); c) uso do álcool em motores de motocicletas; d) problemas levantados por países que pretendem usar álcool (elevação da pressão de vapor, corrosão, estabilidade da mistura, necessidade de aditivos);
44. Melhora das características do álcool como combustível (e.g., densidade energética, aditivos);



45. Uso de álcool em células a combustível (reformadores);
46. Desenvolvimento de novos produtos a partir do álcool (alcoólquímica).

A seguir são apresentados indicadores técnicos para as respectivas áreas da cadeia produtiva cana-
etanol, bem como discutidos e quantificados os respectivos impactos destas melhorias.

10.2. Definição de indicadores de P&D na cadeia produtiva de cana - etanol

A seguir são apresentadas as definições dos indicadores citados neste capítulo.

10.2.1. Indicadores agrícolas

Uso de ECT's: Uso de estruturas de tráfego controlado.

Uso de Plantio Direto: Porcentagem da área de cultivo de cana-de-açúcar, com uma cobertura da superfície maior que 30% composta por restos vegetais de cultivos anteriores.

Uso de Mapas de Produtividade Georreferenciados: Porcentagem do uso de mapas de produtividade georreferenciados.

Teor de ART na cana-de-açúcar: Quantidade em quilograma de ART por tonelada de cana-de-açúcar (kg ART /tc).

Pol (Polaridade): Quantidade em gramas de sacarose em 100 ml de solução, medida pelo desvio ótico provocado pela solução, no plano de uma luz polarizada.

Perdas Totais na Colheita (visíveis e invisíveis): Porcentagem do teor de sacarose da planta perdido durante as atividades agrícolas.

Pragas – Cigarrinha da Raiz: Número médio de indivíduos "*Mahanarva fimbriolata*" encontrados por metro linear na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Pragas – Broca: Porcentagem de soqueiras danificadas por ação de indivíduos “*Diatraba saccharalis*” na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Consumo de Fertilizantes: Quantidade em quilogramas de N, P_2O_5 e K_2O por tonelada de cana-de-açúcar produzida, introduzidas no solo por meio de fertilizantes líquidos ou sólidos na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Colheita de Cana Crua: Porcentagem de cana-de-açúcar colhida sem a utilização de queimadas.

Teor de Terra na Cana: Quantidade colhida de terra, em quilogramas por tonelada de colmo de cana-de-açúcar, carregada junto ao produto para o processo industrial.

Teor de Terra na Palha: Quantidade colhida de terra, em quilogramas por tonelada de palha, carregada junto ao produto para o processo industrial.

Recuperação da Palha: Porcentagem de cobertura vegetal (resultante do cultivo de cana-de-açúcar) recolhida para fins industriais.

Custo de Recuperação da Palha: Custo para recuperar a palha em reais por tonelada de palha.

Consumo de Diesel na Colheita Mecânica: Consumo de diesel, em litros por tonelada de cana-de-açúcar produzida, durante o processo de colheita que utiliza sistemas mecanizados para o corte basal da planta na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Consumo de Diesel no Transporte: Consumo de diesel, em litros por tonelada de cana-de-açúcar produzida, durante o processo de transporte, considerando 25 km.

Consumo de Diesel Agrícola: Consumo de diesel, em litros por toneladas de cana-de-açúcar produzida, durante atividades de manejo e preparo do solo, plantio e colheita na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Longevidade do Canavial: Tempo médio, em anos, de utilização de soqueiras de cana-de-açúcar (colmos utilizados como formadores de um novo indivíduo) no canavial até sua remoção.

Produtividade Agrícola: Quantidade, em toneladas de cana-de-açúcar (colmos), produzida por hectare por ano.



10.2.2. Indicadores Industriais

Perdas na Lavagem de Cana: Porcentagem de açúcares redutores totais (ART) perdidos na limpeza da cana.

Extração de Açúcar: Indica a eficiência (%) da extração dos açúcares totais (ART) da cana que entra na moagem e é recuperado no caldo misto.

Perdas na Torta de Filtro: Porcentagem de ART retida na torta de filtro. As perdas (%) na torta de filtro dependem da terra e da quantidade de torta, se é usado difusor ou moenda.

Rendimento Fermentativo: O rendimento fermentativo (%) correlaciona o produto formado pela fermentação (etanol no vinho) com a quantidade de produto que seria formado se todo o substrato que chega a fermentação fosse transformado em bioetanol no vinho. Leva em conta as perdas por formação de subprodutos e a perda de açúcar remanescente no vinho final sem ser convertida.

Grau Alcoólico do Vinho: Porcentagem (v/v) de álcool etílico, medida em graus Gay-Lussac (°GL).

Relação Vinhaça/Etanol: Quantidade de vinhaça (resíduo líquido resultante da destilação do vinho) dividida pela quantidade de bioetanol produzido.

Teor de Álcool na Vinhaça: Porcentagem de álcool encontrada no resíduo da destilação do vinho.

Produtividade de Álcool: A produtividade industrial deveria ser calculada partindo-se da massa de ART/tc necessária para obter-se uma unidade de álcool anidro (m^3), no entanto o teor de ART tem sido calculado na compra da cana, ou seja, o teor de açúcares da cana não é medido diretamente. Com esta limitação, calcula-se apenas o volume de álcool correspondente a uma tonelada de cana.

Produção de Álcool Anidro e Hidratado: Volume (m^3) total de álcool anidro (99,7°GL) e álcool hidratado (96°GL) por ano.

Eficiência Global: Representa a relação entre o ART que entra junto na cana e o efetivamente recuperado como bioetanol na base da conversão estequiométrica do ART em bioetanol (0,5111 kg de bioetanol por kg de ART ou 0,6475 litros de bioetanol 100% por kg de ART).

10.2.3. Indicadores da área energética

Produtividade Energética: Proporção em toneladas equivalente de petróleo (tep) por hectare, gerada pela lavoura de cana-de-açúcar.

Energia Elétrica Gerada: kWh gerados por tonelada de colmos de cana-de-açúcar, produzidos por meio de turbinas que utilizam vapor originado da biomassa deste cultivo.

Energia Elétrica Consumida: kWh por tonelada de colmos de cana-de-açúcar, consumidos nas atividades das usinas.

Consumo de Vapor: kg de vapor consumido por tonelada de colmo de cana-de-açúcar. Especificar a classe de vapor (pressão e temperatura) para distinguir vapor motriz de vapor de processo (escape).

Pressão de Operação da Caldeira: Valor nominal de pressão, em bar, utilizada na caldeira.

Bagaço Excedente: Porcentagem de bagaço excedente do total gerado no processo de moagem da cana-de-açúcar.

Cana - % Matriz Energética: Representação percentual da energia gerada por meio da cana-de-açúcar dentro da matriz energética brasileira.

10.2.4. Indicadores de sustentabilidade

Conservação dos Solos Agrícolas: Massa de solo desagregado e removido pela erosão, devido à falta de vegetação, tendo como consequência a redução da produtividade da terra, principalmente, devido à perda de nutrientes e a degradação de sua estrutura física (tonelada de solo por hectare).

Uso de Fertilizantes: Quantidade de fertilizante sólido, NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) depositado sobre o solo, por área de cana plantada (kg NPK/ha).

Uso de Herbicidas e Pesticidas: Quantidade de herbicida e pesticida (defensivos químicos) sólido, em kg/ha, aplicados à cultura da cana, com o intuito de combater pragas (insetos) e ervas daninhas (culturas competidoras).



Captção e Uso das Águas: Volume de água captada e utilizada, por peso de cana colhida e processada (m^3/tc).

Emissões de CO_2 : Quantidade de gás CO_2 emitido ($kg\ CO_2/tc$) para atmosfera, seja pelo uso de combustíveis fósseis, pela fermentação alcoólica, pela queima do bagaço e pela decomposição dos insumos na produção agrícola.

Custo de produção: Custo da produção de bioetanol nas usinas, em $US\$/m^3$.

10.3. Quantificação dos impactos das melhorias proporcionadas pela P&D

O setor de bioetanol é um dos destaques na procura por financiamentos do BNDES. Em 2004, o banco desembolsou R\$ 580 milhões. Em 2006, R\$ 2,02 bilhões, alta de 248,27% (*site Folha de São Paulo*). Sabe-se que hoje existem cerca de 100 novos projetos de usinas em execução ou em estudos, quase a totalidade na região Centro-Sul do país.

No entanto, para que os investimentos no setor possam ser devidamente aproveitados, com possibilidade de máxima rentabilidade a médio e longo prazos, faz-se necessário que a cadeia produtiva seja analisada como um todo; isso inclui, além do conhecimento tecnológico, os custos agregados a cada melhoria nas diversas etapas. Esta melhoria dos indicadores deve ser compatível com os requisitos da nova indústria de cana para energia.

A quantificação dos impactos das melhorias tecnológicas pode ser analisada sob dois enfoques:

- em relação à redução do custo (%) de produção, que corresponde ao benefício bruto menos os custos associados, visando garantir a competitividade do bioetanol no longo prazo e,
- pelo aumento ou melhoria dos indicadores de sustentabilidade, propiciando que a produção se faça num ambiente melhor, com impactos menores.

As tabelas que seguem apresentam valores médios de custos para várias etapas da produção de etanol.

Tabela 10.3-1: Custos médios da produção de cana

| Fase | Custo (R\$/tc) | Participação (%) |
|------------------------|----------------|------------------|
| Formação do canavial | 5,56 | 17 |
| Trato da cana planta | 1,07 | 3 |
| Trato da soqueira | 8,79 | 27 |
| Colheita e transporte | 11,10 | 33 |
| Administração agrícola | 1,33 | 4 |
| Remuneração da terra | 5,31 | 16 |
| TOTAL: | 33,16 | 100 |

Fonte: IDEA, 2005

Tabela 10.3-2: Custos de industrialização da cana para produzir etanol

| Item | Destilaria Autônoma (R\$/m ³) | Destilaria Anexa (R\$/m ³) |
|-------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Salários e encargos | 28,86 | 31,80 |
| Depreciações | 26,50 | 31,46 |
| Produtos químicos | 21,63 | 22,06 |
| Óleos lubrificantes | 3,43 | 3,47 |
| Materiais de manutenção | 20,97 | 22,53 |
| Serviços de terceiros | 8,74 | 9,73 |
| Outros | 22,58 | 25,84 |
| TOTAL | 132,70 | 146,90 |

Fonte: IDEA, 2005



Tabela 10.3-2: Custos administrativos na produção de etanol

| Item | Destilaria Autônoma (R\$/m ³) | Destilaria Anexa (R\$/m ³) |
|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Salários e encargos | 15,66 | 17,62 |
| Serviços de terceiros | 6,41 | 7,22 |
| Outros | 15,84 | 17,83 |
| Assistência Social | 8,96 | 10,08 |
| TOTAL: | 46,87 | 52,76 |

Fonte: IDEA, 2005

Um estudo publicado pela COPERSUCAR em 1989 tentou quantificar os impactos das melhorias tecnológicas, como porcentagem da redução de custo de produção, como exibido na Tabela 10.2-4.

No entanto, estes valores e respectivos impactos já se encontram ultrapassados, dado que foi observado um importante ganho de produtividade nestes últimos 15 anos. Faz-se necessário, hoje, um estudo semelhante que permita, a partir de um modelo global de cálculo de custo do etanol, se avaliar as melhores oportunidades de redução de custos.

Tabela 10.3-4: Potencial de redução de custo com as melhorias tecnológicas

| Setor | Redução de custo (%) |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Produção de cana (agricultura) | |
| Seleção de variedades e manuseio | 9,8 |
| Aplicação de Calcário | 1,6 |
| Fertilizantes Líquidos | 0,7 |
| Uso de Vinhaça | 1,0 |
| Remoção de Ervas daninhas | 2,1 |
| Transporte | 0,5 |
| Planejamento operacional | 3,4 |
| Produção de bioetanol (indústria) | |
| Moagem | 1,3 |
| Fermentação | 3,3 |
| Destilação | 0,3 |
| Energia | 1,5 |
| Total (%) | 25,5 |
| Custo de produção esperado com as reduções (US\$/l de etanol) | 0,20 |

Fonte: GOLDEMBERG (2000)

A seguir, estão listados indicadores técnicos que de alguma maneira representam quantitativamente a saúde do setor sucroalcooleiro no Brasil. A fim de melhor compreender a questão global ao longo de toda a cadeia produtiva, dividiu-se este estudo por áreas, como feito anteriormente.



10.3.1. Evolução da tecnologia agrícola

Impactos expressivos deverão ocorrer na fase agrícola. Estudos revelam que a matéria-prima (cana-de-açúcar) é responsável por 60% a 70% dos custos de produção do etanol. Espera-se que, além da redução de custos para os anos de 2015 e 2025, a produtividade cresça em toneladas de colmos de cana-de-açúcar por hectare por ano advindo da introdução de novas variedades. Estima-se que a produtividade possa chegar a 90,18 e 99,92 tc/ha.ano para São Paulo, 86,78 e 99,47 tc/ha.ano para o Centro-Oeste e 72,41 e 88,27 tc/ha.ano para o Norte-Nordeste. A Tabela 10.2-5 apresenta indicadores de desempenho da tecnologia agrícola.

Tabela 10.3-5: Indicadores de desempenho da tecnologia agrícola

| Indicador de Desempenho | Valor atual | Meta 2025 | Ações |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso de ECT's | 0 | 100 | Desenvolvimento de toda tecnologia de ECT (Estrutura de tráfego controlado) |
| Uso de plantio direto | < 5 % | 100 % | Adequação dos processos de colheita e transporte; eliminação de soqueira química ou mecânica |
| Uso de mapas de produtividade georeferenciados | 0% | 100% | Quebra de paradigma |
| Teor de ART na cana-de-açúcar | 159 kg ART/tc | 176 kg ART/tc | Investimento em novas variedades de cana, colheita ocorrendo no tempo correto, eliminação das queimadas, desenvolvimento de tecnologias para evitar os efeitos de possíveis estiagens. |
| Pol | 14,5 % | 16%* | Melhoramento genético; variedades transgênicas |
| Perdas totais na colheita (visíveis e invisíveis) | 5% | 2% | Eliminação de queimadas; colheita de cana crua |
| Pragas – Cigarrinha da raiz | 7 insetos/m | 3 insetos/m | Controle biológico; retirada parcial do palhico |
| Pragas – Broca | 7 % de colmos danificados | 3,3 % | Controle biológico |
| Consumo de fertilizantes | N: 0,14 kg/tc P ₂ O ₅ : 0,70 kg/tc K ₂ O: 0,70 kg/tc | deve-se objetivar a redução do consumo, dados não disponíveis | Adequação da adubação ao tipo de solo, variedades e precipitação |
| Colheita de Cana Crua | 20 % | 100 % | Adequação do processo de colheita |
| Teor de terra na cana | 5 kg/tc | 1 kg/tc | Corte de base flutuante |
| Teor de terra na palha | 50 kg/tc | 3 kg/tc | |
| Recuperação da palha | 0% | 60% | Desenvolvimento de sistema de coleta |
| Custo de recuperação da palha | R\$40 /t | R\$10/t | Desenvolvimento de tecnologia de menor custo |
| Consumo de diesel na colheita mecânica | 0,9 l/tc | 0,38 l/tc | Adequação do processo de colheita |
| Consumo de diesel no transporte | 0,98 l/tc | 0,88 l/tc | Otimização do uso do diesel e mudar sistemas que empregam diesel |
| Consumo agrícola de diesel | 3,5 l/tc | 1,7 l/tc | Redução do preparo do solo; Adequação do processo de colheita |
| Longevidade do Canavial | 5 anos | 10 anos | Redução de tráfego; melhoramento genético; irrigação |
| Produtividade Agrícola | 71,0 t/ha | 85 t/ha** | Melhoramento genético; variedades transgênicas; otimização econômica do número de cortes |

* ganho esperado de 0,5% ao ano no teor de sacarose

** para a região Centro-Sul



Foram definidos três cenários básicos para a evolução tecnológica de produção de cana-de-açúcar, representando o estágio atual e as situações esperadas para o médio (2015) e longo (2025) prazos:

- **Cenário A:** preparo do solo convencional, plantio manual com adubação sólida, colheita manual de cana queimada; utilização de equipamentos convencionais de bitola inferior a 2,00 m e tráfego moderado;
- **Cenário B:** Preparo do solo reduzido com eliminação química de soqueiras, subsolagem e sulcação direta, plantio e colheita mecanizada de cana sem queimar e com recuperação parcial da palha; operações com a utilização de equipamentos convencionais de bitola inferior a 2,00 m e tráfego intenso;
- **Cenário C:** Plantio direto com eliminação química de soqueiras; em todas as operações serão utilizadas estruturas de bitola extralarga com linhas definidas de tráfego, operando no esquema de agricultura de precisão, sem restrições de topografia; colheita simultânea de colmos e palha sem queimar, baixos níveis de perdas, sistema centralizado de manutenção e gerenciamento de frotas e de operações com dados captados, processados e realimentados via satélite.

10.3.2. Evolução da tecnologia industrial

Os indicadores e medidas de desempenho levantados neste estudo serão responsáveis pela caracterização e diagnóstico do processo produtivo nos diversos setores da indústria sucroalcooleira.

Com isto, procurou-se obter valores que expressam o melhor desempenho nas etapas mais relevantes da produção do bioetanol e conseqüente padronização de suas unidades. Tais dados terão o mérito de direcionar e subsidiar algumas decisões técnicas e políticas.

As melhorias esperadas até 2025 no desempenho de tais indicadores são mostradas na Tabela 10.2-6.

Algumas tecnologias novas, mas não utilizadas ainda, foram analisadas e indicaram um excelente potencial de redução do consumo energético. Como por exemplo, na desidratação do bioetanol o consumo de vapor poderá ser reduzido dos atuais 1,75 kg/l de bioetanol na desidratação azeotrópica, praticada hoje, para 0,11 kg de vapor/l de bioetanol do sistema de pervaporação (membranas).

Os principais problemas em relação à vinhaça foram identificados como sendo o grande volume

produzido e o alto teor de sulfatos. O encaminhamento para solução destes problemas foi apresentado na descrição da usina modelo no Capítulo 3.

Tabela 10.3-6: Indicadores de desempenho da tecnologia industrial

| Indicador de Desempenho | Valor atual | Meta 2025 | Ações |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perdas na lavagem de cana | 0,47% | 0% | Eliminação da lavagem; limpeza a seco |
| Extração de açúcar | 96,3% | 97,5-98% | Melhorias na moagem |
| Perdas na torta de filtro | 0,54% | 0,25% | Melhoria operacional |
| Rendimento fermentativo | 89,7% | 91-92% | Otimização da fermentação |
| Grau alcoólico do vinho | 8,4°GL | 10-12°GL | Redução da temperatura de fermentação |
| Relação vinhaça/etanol | 11,9 | 9,5 – 7,9 | Aumento do grau alcoólico do vinho |
| Teor de álcool na vinhaça | 0,036% | 0,015% | Introdução de sensores e automação |
| Produtividade de Álcool | 83 l/tc | 95 l/tc | Trabalho de desenvolvimento tecnológico |
| Produção de álcool anidro e hidratado* | Álcool anidro 7,8 milhões m ³ /ano | Total: 36,9 milhões m ³ /ano | Melhorias nas diversas etapas da produção |
| | Álcool Hidratado 8,2 milhões m ³ /ano | | |
| | Total: 16 milhões m ³ /ano | | |
| Eficiência Global | 82,3% | 89,5% | Melhoria da eficiência no tratamento do caldo e na destilação. Redução de perdas indeterminadas. |

Fonte: UNICA

10.3.3. Evolução da tecnologia energética

A indústria sucroalcooleira pode ser considerada bastante desenvolvida no que diz respeito à geração e consumo de energia elétrica. Praticamente todas as usinas de cana-de-açúcar do Brasil são auto-suficientes, produzindo mais kWh do que consomem através de turbinas que utilizam o vapor gerado nas caldeiras, disponibilizando o excedente à rede elétrica.



Espera-se, no entanto, que um melhor rendimento das caldeiras e das turbinas, com a utilização da palha recuperada para queima, mesmo com o desenvolvimento do processo de hidrólise (que vai consumir parte da energia elétrica gerada), a produção de energia elétrica aumente gerando lucros significativos por sua venda, ao mesmo tempo em que continue a atender suas demandas atuais. É importante que se observe que, além do consumo adicional de eletricidade, a introdução da produção de bioetanol via hidrólise reduzirá a disponibilidade de biomassa para energia elétrica.

Em termos globais, a produção de álcool tenderá a um grande aumento, em virtude do advento da hidrólise. Com este aumento da produção, espera-se elevar as exportações e também a participação da cana na matriz energética nacional.

Tabela 10.3-7: Indicadores de desempenho da tecnologia energética

| Indicador de Desempenho | Valor atual | Meta 2025 | Ações |
|------------------------------------------|--------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produtividade energética | 7,5 tep/ha* | 9,8 tep/ha** | Melhoramento genético; Hidrólise ou geração de energia elétrica a partir do bagaço e da palha |
| Energia elétrica gerada | 26,33 kWh/tc | Até 159 kWh/tc | Utilização da palha em caldeiras; Recuperação da palha; Maior eficiência de equipamentos; Aumento da pressão e da temperatura do vapor gerado |
| Energia elétrica consumida | 15,58 kWh/tc | 12,00 kWh/tc | Maior eficiência no uso da energia elétrica; |
| Consumo de vapor | 480 kg/tc | 372 kg/tc | Utilização da palha em caldeiras; Recuperação da palha; Redução da demanda de vapor do processo |
| Pressão de operação das caldeiras | 22 bar | 90 bar | Investimentos em novas tecnologias do setor; Aumento da escala de produção de caldeiras mais eficientes e que operam a maior pressão. |
| Bagaço excedente | 8,6% | 0% | Hidrólise e geração de energia elétrica usam todo bagaço |
| Cana – participação na Matriz Energética | 12% | 14% | Hidrólise do bagaço; Melhoria genética; Na matriz energética brasileira há dois aspectos a considerar: manter a competitividade do bioetanol em relação à gasolina, e gerar quanto mais eletricidade possível; o bioetanol exportado não é considerado na matriz |

* considerando produtividade 71,5 t/ha para hoje e 85 t/ha (mais 60% de palha) para 2025



10.3.4. Evolução da tecnologia em termos de sustentabilidade

Atualmente, a produção agrícola da cana-de-açúcar em grande escala, e a produção agroindustrial de bioetanol e bioeletricidade em destilarias, apresentam um grande potencial de expansão de produção, trazendo como resultado:

- redução de emissão de gases de efeito estufa;
- diminuição do consumo de gasolina e outros combustíveis fósseis.

Entretanto, este aumento expressivo da produção de cana poderá trazer impactos ambientais, tais como:

- redução da biodiversidade, pelo uso de novas áreas em monocultura;
- perda de solos, tais como pela erosão;
- pressão sobre recursos hídricos e influência na qualidade da água; e
- resultantes do aumento do uso de defensivos e fertilizantes.

No entanto, com a evolução tecnológica, é esperada:

- redução da quantidade de fertilizantes químicos visto que o insumo chega a representar 35% do custo de produção, e apresenta uma média atual de utilização de 200 kg de NPK por hectare de cana (Embrapa 2006);
- utilização de técnicas mais avançadas de manejo da produção de cana-de-açúcar e de áreas de reservas ambientais, reduzindo a erosão quando comparada aos manejos de pastos ou de grãos;
- um programa de redução da captação de água, motivado por ações restritivas (inclusive cobrança pelo uso) e baseado essencialmente na otimização de processos e reutilização interna, buscando uma redução de 5 m³ para 1 m³ de água captada por tonelada de cana processada;
- a diminuição das emissões dos GEE entre outras emissões gasosas presentes tanto na parte agrícola como industrial.

Tabela 10.3-8: Indicadores de desempenho em sustentabilidade

| Indicador de Desempenho | Valor atual | Meta 2025 | Ações |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conservação dos solos agrícolas | 12,4 t de solo/ha/ano | 0,9 t de solo/ha/ano | Zoneamento; licenciamento; fiscalização; cobertura vegetal (palha). |
| Uso de fertilizantes | 200 kg NPK/ha | Redução para níveis não estimados | Reciclo de resíduos de vinhoto e torta de filtro; palha no campo e adequação da adubação ao tipo de solo. |
| Herbicidas, pesticidas | 4,5 kg herbicidas/ha. | 2% de colmos danificados/m ² | Controle biológico da broca e da cigarrinha; variedades transgênicas resistentes (principais predadores). |
| | 0,36 kg Pesticidas/ha | | |
| | 5% de colmos danificados/m ² | 3 insetos/m | |
| | 7 insetos/m | | |
| Captação e uso da água | 5 m ³ água/tc (processada) | 1 m ³ água/tc (processada) | Otimização do processo; reutilização interna; cobrança pelo uso; lavagem a seco. |
| Emissões de CO ₂ | 4,7 kg CO ₂ /tc | 3,6 kg CO ₂ /tc | Eliminação da queima da cana; Aumento do rendimento fermentativo: Tecnologias de gaseificação da biomassa e turbinas a gás. |
| Emissões de CH ₄ (Queima da cana) | 0,9 kg CH ₄ / (m ³ álcool) | zero | Eliminação da queima da cana; |
| Custo de produção e competitividade | US\$ 0,28/l álcool | US\$ 0,20/l álcool | Implementação de tecnologias comerciais (expansão do uso); Tecnologias novas (agricultura de precisão, processos de separação, automação industrial); energia excedente (já iniciado); bioetanol de bagaço e palha; modificações genéticas da cana-de-açúcar. |

10.3.5. Considerações econômicas

É de fundamental importância que se definam melhorias nos indicadores considerados mais importantes para uma avaliação macro das diferentes etapas da produção de cana e etanol.

Não existe dúvida que um considerável esforço será necessário para melhorar os indicadores econômicos, ambientais, sociais, energéticos da produção de cana e bioetanol e de que isto se faz necessá-



rio, sobretudo neste momento que se vislumbra uma grande oportunidade de inserção do bioetanol brasileiro no mercado internacional de biocombustíveis que agora começa a nascer.

Aqui foram apresentadas estimativas e expectativas de melhorias nos indicadores mais importantes nas áreas da cadeia produtiva cana-etanol. No entanto, a quantificação dos impactos decorrentes da melhoria destes indicadores nos custos de produção ou outros ângulos de análise deverão ser objeto de um segundo estudo ou diagnóstico. A dificuldade de se quantificar os impactos dessas melhorias advém da falta de um modelo geral que contemple não somente os custos de produção, nas suas diferentes fases ou itens, como também suas inter-relações.

Por exemplo, sabe-se que a redução de custos da colheita da cana e recuperação da palha é um importante item no custo agrícola e merecedor de atenção no conjunto dos custos da matéria-prima, mas que isso deve ser feito observando-se os impactos sobre os custos da fermentação. Este cruzamento dos impactos pode e deve ser melhor avaliado dentro de uma perspectiva mais abrangente, mais global dos custos de produção.

Este argumento também pode ser aplicado para as questões energéticas e de sustentabilidade. Portanto, a construção de um modelo geral de toda a cadeia produtiva que considere as questões de custos agrícolas e industriais e as questões energéticas e de sustentabilidade, é cada vez mais necessária para uma adequada avaliação ou quantificação dos impactos das melhorias dos referidos indicadores já mencionados.

Finalmente, é importante salientar que como a implicação maior da produção de grandes volumes de bioetanol e bioeletricidade é amenizar o aquecimento global no planeta e tem como mérito aproveitar uma excelente oportunidade de desenvolvimento que se apresenta para o país, não se pode simplesmente replicar ou multiplicar o modo de produção existente hoje, que certamente não satisfaz as exigências da nova indústria que está nascendo, com foco na energia da biomassa.

10.4. Orçamento e cronograma para o desenvolvimento tecnológico - os fundos setoriais e o P&D em etanol

Primeiramente, é importante que se reconheça que o Brasil, embora seja o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (e dividida com os EUA a liderança na produção de etanol), e de ter os menores custos de produção investe pouco em P&D neste setor. Um indicador desse baixo investimento é a relação de recursos investidos por área plantada. Enquanto aplicamos US\$ 1,2/ha, a Austrália investe US\$ 10/ha, Argentina US\$ 3/ha e Barbados, no Caribe, investe US\$ 14/ha, segundo Marcos Landell do Centro Cana/IAC.

O essencial dos recursos destinados à pesquisa em cana vem do setor privado (cooperativas, usinas associadas e empresas) e do setor público (institutos de pesquisa, fundos federais e estaduais). A seguir, será discutida a importância dos fundos setoriais e como o financiamento por meio deles vem sendo feito hoje, e as dificuldades de responder às necessidades do setor.

Os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia, criados a partir de 1999, são instrumentos de financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no país. As receitas dos Fundos são oriundas de contribuições incidentes sobre o resultado da exploração de recursos naturais pertencentes à União, parcelas do Imposto sobre Produtos Industrializados de certos setores e de Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) incidente sobre os valores que remuneram o uso ou aquisição de conhecimentos tecnológicos e/ou transferência de tecnologia do exterior.

Desde sua implementação nos anos recentes, os Fundos Setoriais têm se constituído no principal instrumento do Governo Federal para alavancar o sistema de C,T&I do País. Eles têm possibilitado a implantação de milhares de novos projetos em instituições científicas e tecnológicas - ICTs, que objetivam não somente a geração de conhecimento, mas também sua transferência para o setor produtivo. Projetos em parceria têm estimulado maior investimento em inovação tecnológica por parte das empresas, contribuindo para melhorar seus produtos e processos e também equilibrar a relação entre investimentos públicos e privados em ciência e tecnologia.

A criação dos Fundos Setoriais representa o estabelecimento de um novo padrão de financiamento para o setor, sendo um mecanismo inovador de estímulo ao fortalecimento do sistema de C&T nacional. Seu objetivo é garantir a estabilidade de recursos para a área e criar um novo modelo de gestão, com a participação de vários segmentos sociais, além de promover maior sinergia entre as universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo.

Os Fundos Setoriais constituem ainda valioso instrumento da política de integração nacional, pois pelo menos 30% dos seus recursos são obrigatoriamente dirigidos às Regiões Norte, Nordeste e



Centro-Oeste, promovendo a desconcentração das atividades de C&T e a consequente disseminação de seus benefícios.

Os recursos são oriundos de diferentes setores produtivos, derivados de receitas variadas, como *royalties*, compensação financeira, licenças, autorizações, etc. Os recursos dos Fundos Setoriais, em geral, são aplicados em projetos selecionados por meio de chamadas públicas, cujos editais são publicados nos portais da FINEP e do CNPq.

No entanto, os fundos setoriais reservaram um pequeno espaço para a pesquisa relacionada com biomassa e cana, como pode ser comprovado na Tabela 10.4-1.

Tabela 10.4-1: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil por órgãos públicos de fomento

| Órgão | Valor estimado |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| BNDES (Funtec) | R\$ 12 milhões ² |
| Fundos Setoriais: CT-Energ, CT-Petro, CT-Agro recursos CNPq e FINEP | R\$ 22 milhões |
| Outros recursos governamentais ¹ | n.d. |
| FAPESP (Programa Etanol) | R\$ 30 milhões ² |

¹Existem outros recursos aplicados na forma de projetos financiados diretamente pelos ministérios MME e MCT, sobretudo, e de bolsas de estudo de pós-graduação e produtividade de pesquisadores pelo CNPq e CAPES;

²Valor previsto para os próximos anos.

O esforço de investimento privado em P&D esteve fortemente concentrado na parte agrícola, sobretudo no melhoramento genético de variedades. Do lado do setor público, o programa de cana do IAC conta com forte apoio privado. O programa do IAC custa R\$ 2 milhões/ano, sendo financiado na proporção de 60% pelo setor privado. Mesmo na pesquisa de mais alto risco, como na área de engenharia genética, ainda é muito limitado o financiamento público para a pesquisa aplicada à cana.

Um exame acurado mostra que apenas 0,5% dos projetos dos Fundos Setoriais estão relacionados com a palavra-chave cana, e identificaram-se apenas três projetos do CT Biotecnologia relacionados com cana.

Tabela 10.4-2: Projetos dos Fundos Setoriais (1999-2006)

| Fundos | Palavra chave: biomassa | Palavra chave: cana | Todos |
|---------------------|----------------------------|------------------------|---------------|
| CT – Energ | 46 | 14 | 1.661 |
| CT – Agronegócio | 5 | 6 | 1.295 |
| CT – Hidro | 4 | 21 | 1.776 |
| CT –Petro | 2 | 7 | 2.932 |
| CT –Infra | 1 | | |
| CT –Verde e Amarelo | 1 | 3 | |
| CT –Transversais | 1 | 7 | 1.376 |
| CT –Info | 1 | 9 | 2.769 |
| CT – Biotecnologia | | 3 | 261 |
| CT –Saúde | | 7 | 1.137 |
| CT –Mineral | | | 265 |
| CT – Transporte | | | 67 |
| CT –Amazônia | | | 61 |
| CT – Aeronáutico | | | 51 |
| CT – Espacial | | | 33 |
| CT – Funttel | | 4 | 33 |
| CT – Aquaviário | | | 7 |
| Total | 61 | 81 | 14.779 |

Fonte: base de dados Prossiga, extraído em 22/12/2006.

Por outro lado, a FAPESP tem demonstrado um maior empenho com relação à P&D no setor. Principalmente ela apoiou, dentro do programa genoma, o projeto Genoma Cana. Esse projeto se iniciou em 1998 e já identificou 50 mil genes da cana. Ele se constitui em um destacável exemplo de mobilização de recursos públicos, com intensa participação das Universidades e Institutos Públicos na execução da pesquisa básica dirigida. Possivelmente também exista forte correlação entre o volume de recursos alocados pela FAPESP e a competitividade do setor sucroalcooleiro em São Paulo.



Três dos quatro programas de melhoramento genético estão localizados no estado de São Paulo (IAC, CTC e Canavialis), constituindo-se em uma limitação para a difusão da cultura de cana para outros estados. Essa limitação está relacionada com a preponderância do financiamento privado à pesquisa em cana, que advém da agroindústria paulista fundamentalmente.

Tabela 10.4-3: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil por instituições ou centros de pesquisa usuários de recursos públicos e privados

| Setor Privado | Valor estimado |
|------------------------------------------------------------|------------------|
| CTC | R\$ 45 milhões |
| Dedini | R\$ 19 milhões |
| Oxiteno | n.d. |
| Indústria de Máquinas Agrícolas (Case, John Deere, outras) | R\$ 15 milhões |
| Alellyx/CanaVialis | n.d. |
| CENPES/Petrobras | n.d. |
| Empresas tecnologia FFV (Magnetis Marelli e Bosch) | n.d. |
| Setor Público | Valor estimado |
| Ridesa ¹ | R\$ 1,35 milhões |
| Embrapa (energia e etanol) ¹ | R\$ 13 milhões |
| Outros Institutos Federais (INT, CTA) | n.d. |
| IAC / Centro Cana ¹ | R\$ 3 milhões |
| IPT | n.d. |
| UNICAMP ¹ | R\$ 3 milhões |
| UFRJ ¹ | R\$ 4,5 milhões |
| Outras universidades | n.d. |
| CENBIO | n.d. |

¹Incluindo salários dos pesquisadores (valor estimado x 1,5);

O tamanho do setor da agroindústria canavieira, estimada em relação a 2006, ultrapassa R\$ 29 bilhões/ano, aproximadamente 50% por conta do açúcar e 50% por conta do álcool. Caso 1% da receita fosse gasta em P&D, ter-se-ia R\$ 300 milhões alocados a projetos de pesquisa. O gasto atual deve ser da ordem de R\$ 80 milhões/ano oriundos do setor privado. Esse volume de recursos é considerado pelos especialistas envolvidos insuficiente para garantir a competitividade futura do setor.

Deve-se, portanto, fortalecer as redes de pesquisa para o desenvolvimento de novas variedades em outros estados brasileiros, sobretudo nas regiões já identificadas com maior potencial para a expansão da cana no país. De fato, pelas razões apontadas, há uma grande necessidade de investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, como também se faz absolutamente necessária a criação de um centro de pesquisas em etanol, assim como redes e institutos, que tenham a tarefa de construir as bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis que está nascendo no mundo e que encontra justamente no Brasil um grande referencial e potencial de expansão.

Finalmente é importante que se mencione o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 com as Diretrizes da Política de Agroenergia, que embora coloque claramente suas metas não apresenta uma forma para financiá-lo.



10.5. Criação de um Fundo de Desenvolvimento para bioetanol e fonte de recursos

Atualmente, os fundos setoriais existentes na área de energia (CT-Energ, CT-Petro) e de agricultura (CT-Agro) não contemplam satisfatoriamente as áreas de biocombustíveis. Os desafios e as respectivas necessidades de recursos de P&D recomendam fortemente a criação de um fundo de desenvolvimento específico para biocombustíveis, mais especificamente em etanol.

A seguir são feitas algumas considerações sobre os fundos existentes na área de energia e porque estes fundos não conseguem atender a demanda de P&D em biocombustíveis no país.

- CT-Energ é um fundo principalmente dirigido para fornecer recursos de P&D para o setor elétrico. Embora tenha financiado alguns projetos na área de uso de bagaço de cana para geração de energia elétrica, este fundo não é dirigido para o uso de combustíveis líquidos renováveis.
- CT-Petro é um fundo para o financiamento de inovações em petróleo e gás. Neste sentido, também não tem características adequadas para este fim, embora também tenha financiado algumas iniciativas de produção de biocombustíveis, mas de forma marginal.
- CT-Agro é um fundo voltado à área de produção agrícola, sobretudo atividades ligadas à produção de alimentos. Embora os biocombustíveis tenham base agrícola, os recursos necessários pressionariam demasiadamente e não haveria essa possibilidade.

Outros fundos como CT-Transporte, CT-Infra, CT-Biotec e Verde Amarelo existem, mas com pouca especificidade em relação a biocombustíveis.

Estes fundos existentes, quando do lançamento de editais e chamadas para projetos, frequentemente fazem menção às tecnologias alternativas, como o uso de recursos localmente produzidos, por exemplo, biomassa. No entanto, biocombustíveis não é o foco, não ocupando um papel central nestas chamadas e editais, e não atingindo toda a comunidade de pesquisadores e instituições que se dedica aos biocombustíveis.

Isto acaba gerando um prejuízo importante para esta área por dois motivos: primeiro, porque impede que aconteça uma melhoria tecnológica no médio e longo prazos com claros prejuízos à competitividade, e segundo, porque existe um reconhecido potencial no Brasil, mas que precisa urgentemente de um apoio mais dedicado das agências de financiamento à pesquisa.

Por isso explora-se nesse estudo a criação de um novo fundo setorial - CT-Etanol - com o objetivo específico de financiar P&D para toda a cadeia produtiva de produção de etanol.

A agroindústria canieira tem um peso econômico tão significativo, algo como 1,5% do PIB brasileiro, que justificaria criar um fundo específico para o etanol. Faz sentido pelo lado da organização da pesquisa e pelo lado do financiamento, pois o setor tem condições de arcar com uma contribuição específica.

A ideia seria aplicar-se uma taxa de 0,5% sobre a receita líquida da venda do álcool e 0,125% à gasolina C, dado que contém de 20% a 25% de álcool anidro. A aplicação da taxa no álcool hidratado e anidro é correta, pois não teria impacto negativo relevante no consumo de álcool em relação à gasolina.

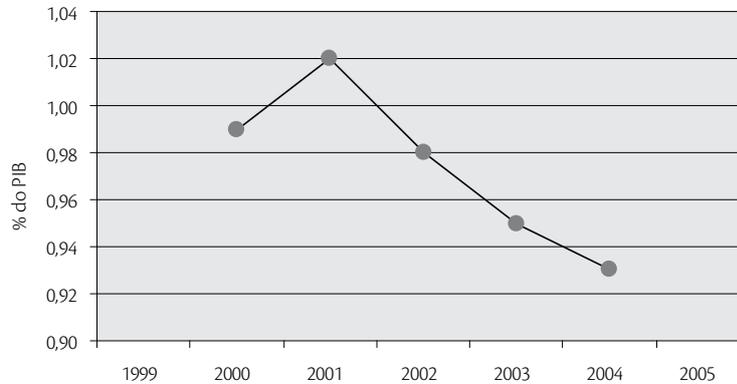
Uma estimativa preliminar indica que para um consumo no país de 23 bilhões de litros de gasolina C, a um preço médio na bomba de R\$ 2,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 72 milhões. Já para um consumo de 15 bilhões de litros de bioetanol hidratado a um preço médio de R\$ 1,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 113 milhões, totalizando aproximadamente R\$ 185 milhões. Os recursos deste fundo deveriam ser aplicados parte em pesquisa aplicada, com retorno garantido, e outra de mais longo prazo, numa proporção de 80/20.

A FAPESP está adotando outra alternativa para arrecadar recursos destinados à P&D em etanol; um fundo cooperativo, no qual há investimentos tanto do setor público quanto do setor privado. Isto é necessário, pois falta investimento espontâneo do próprio setor. Os investimentos atuais são insuficientes para garantir a competitividade. Os demais países, nossos competidores, estão investindo intensamente em tecnologia de biocombustíveis.

Os recursos para C&T, no Brasil, são estimados num patamar de 1% do PIB (nos países desenvolvidos, em média, o investimento em C&T equivale a 3% do PIB). No entanto, os recursos investidos pelos Fundos Setoriais em 2004 e 2005 representaram respectivamente 0,035% e 0,043% do PIB. O gasto estimado em 1% do PIB contempla o investimento na manutenção das universidades federais (cerca de 0,5% do PIB em 2004) e também nas estaduais públicas, assim como nos institutos públicos de pesquisa.



Gráfico 10-1: Investimento do Brasil em P&D em relação ao PIB



Fonte: COGGIOLA et al., 2006

10.6. Incentivos fiscais e empréstimos diferenciados

O emprego desses mecanismos visa induzir o desenvolvimento das áreas previstas e tornar menos atraente a produção de álcool em áreas indesejáveis. Existem duas situações para incentivos fiscais e empréstimos que serão tratadas a seguir:

- Incentivos a novos projetos que envolvam melhorias tecnológicas (por exemplo, instalação de uma caldeira com pressão mais elevada) ou o emprego de tecnologias disruptivas;
- Incentivos a novos empreendimentos (novas usinas) em áreas consideradas mais desejáveis.

Conceitualmente, os incentivos fiscais e empréstimos diferenciados por parte dos agentes financeiros (BNDES, entre outros) visam induzir um setor economicamente mais competitivo e com melhores indicadores sóciais, econômicos e ambientais. Nesse sentido, é importante notar que a melhoria, por exemplo, de indicadores de sustentabilidade, podem ser decisivos na certificação da produção do bioetanol e conseqüentemente nas oportunidades de negócios num mercado emergente.

Hoje, podem-se identificar algumas tendências principais que devem ser utilizadas na sinalização da trajetória futura da indústria do etanol:

- novo padrão tecnológico que implique em menores custos de produção, garantindo a competitividade;
- melhoria dos indicadores de sustentabilidade ambiental e correspondente diminuição de impactos;
- uso racional dos recursos da cana, o que significa fim das queimadas e recuperação de parte da palha para fins energéticos;
- capacitação e geração de recursos humanos qualificados (técnicos e pesquisadores), indispensáveis para a nova indústria do etanol.

10.6.1. Incentivos visando melhorias tecnológicas ou o emprego de tecnologias disruptivas

1. Área Agrícola: incentivos a projetos que visem à produção sustentada de cana, tais como desenvolvimento de novas variedades, plantio direto, mecanização de baixo impacto, fim das queimadas, recuperação da palha, desenvolvimento da cana-de-energia.
2. Área Industrial: incentivos às tecnologias mais eficientes, que reduzam as perdas no processo, reduzam custos e as emissões de poluentes (gases e resíduos líquidos).
3. Área Energética: incentivos a projetos que otimizem a geração e uso de energia, com sistemas de geração mais modernos e uso econômico do vapor no processo.
4. É importante observar que o valor pago ao MWh gerado com biomassa de cana no PROINFA (R\$ 93,77/MWh) não estimulou processos mais avançados de geração como aconteceu com a energia eólica (R\$ 204,35/MWh) por exemplo, ou com hidrelétricas de pequeno porte - PCH (117,02/MWh), segundo dados publicados pelo MME em 30/03/2004 quando da regulamentação do PROINFA¹. Incentivos devem ser oferecidos a projetos que envolvam a aplicação de tecnologia de ponta, de modo a garantir sua competitividade futura.
5. Área de Sustentabilidade: estímulo a projetos com melhor preservação ambiental, melhoria do ambiente de produção, preservação da biodiversidade, projetos que melhores indicadores ambientais e que reduzam os impactos negativos da produção sobre os recursos hídricos, solo e ar.

¹ Segundo o Artigo 3º da Portaria, os valores econômicos serão reajustados de acordo com o IGP-M a partir de março/2004. Para um IGP-M acumulado de março/2004 a dezembro/2006, calculado em 16,31%, os preços em dezembro/2006 seriam: PCH: R\$ 136,11/MWh; Biomassa de cana: R\$ 109,07/MWh; Eólica: R\$ 237,69/MWh.



A certificação ambiental da produção de bioetanol deve visar que a produção seja realizada de forma sustentada. Vários países e grupos de pesquisa no mundo estão estudando parâmetros que sintetizem a produção sustentada de biocombustíveis, inclusive o bioetanol combustível. É importante participar da definição desses parâmetros e critérios de certificação para garantir sua contribuição efetiva e não discriminatória para o desenvolvimento sustentável e evitar que se tornem mais uma barreira para a comercialização no mercado externo.

10.6.2. Incentivos aos novos empreendimentos em áreas mais desejáveis

Inicialmente, há que se elencar os critérios que vão orientar o agente financeiro para o que se entende por “áreas consideradas desejáveis ou indesejáveis”. As áreas podem ser adequadas ou inadequadas de acordo com os seguintes pontos de vista:

- Critério agrônomo relativo ao cultivo da cana-de-açúcar, segundo mapas que demonstrem a aptidão agrícola. Neste caso, deve-se favorecer prioritariamente os empreendimentos onde a produtividade da cana é mais elevada;
- Critério impacto ambiental. Em nenhum caso devem ser apoiados projetos em áreas de restrição ambiental, reservas indígenas ou regiões onde o empreendimento irá provocar um impacto negativo sobre a produção agropecuária já existente. Deverão ser apoiados projetos cuja instalação se dê em áreas degradadas ou de exploração de baixa rentabilidade (por exemplo, pecuária extensiva);
- Critério infraestrutura. Devem-se privilegiar projetos onde os custos com instalação de infraestrutura de produção ou de escoamento sejam menores. Neste caso, surge um paradoxo, pois se o agente financiador preferir apoiar projetos onde a infraestrutura já existe, poderá diminuir as chances de interiorizar o desenvolvimento ou de reduzir as desigualdades entre as regiões no Brasil. Isso poderia ser evitado por meio do incentivo à formação de *clusters* de produção (ver 4.1.3).

Deve-se evitar que os novos projetos e novos canais desloquem culturas alimentares e empurrem as pastagens ou áreas de soja para as áreas com restrição ambiental, como Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica.

É importante que se enfatize que os mecanismos de incentivos creditícios e fiscais que podem ser utilizados são os seguintes:

- taxas de juros diferenciadas;
- período de carência no investimento;
- remuneração de tarifas diferenciadas;
- redução ou eliminação de incidência de impostos.

A estratificação dos incentivos fiscais e diferenciação dos empréstimos de acordo com os critérios já mencionados deverão ser objeto de um estudo complementar em colaboração com o principal agente financiador (BNDES) e agências e órgãos públicos envolvidos.

10.7. Política pública para o desenvolvimento sustentado do etanol

Este item tem por objetivo examinar diretrizes, estratégias e políticas para o desenvolvimento sustentado do setor sucroalcooleiro, com foco na produção de etanol. Isso é feito duas orientações:

a) Garantir que a expansão da produção de bioetanol analisada neste estudo se dará de forma a atender os interesses sociais, econômicos e ambientais do país

Do ponto de vista macroeconômico, pode-se observar uma forte concentração da produção de bioetanol e açúcar no estado de São Paulo (65%), e na Região Centro-Sul (85%). Há que se dar condições para que, associado ao forte processo de expansão do bioetanol que se vislumbra neste estudo, também se promova uma descentralização da produção de cana e bioetanol no país.

Para 2025 estima-se aqui que 60% da produção fique alocada na Região Centro-Sul e 40% no Nordeste e Norte. Note-se que este estudo não considera a expansão da cana nas regiões tradicionais (São Paulo, Zona da Mata do Nordeste e região de Campos no Estado do Rio de Janeiro).

Um impacto importante identificado neste estudo é a interiorização do desenvolvimento promovida pela expansão da produção de etanol, a geração de excedentes de energia elétrica que darão o suporte social aos *clusters* de destilarias, além da necessidade de criação da infraestrutura adequada para o desenvolvimento das cidades que irão abrigar os novos *clusters*.



No que tange à questão ambiental, primeiramente observa-se a exclusão das grandes áreas com restrição ambiental: Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal. Também estão excluídas do estudo de expansão da produção de bioetanol as áreas ocupadas com reservas indígenas e as áreas com declividade maior do que 12% devido às dificuldades atuais de introduzir a mecanização. É importante salientar, que o desenvolvimento tecnológico das colhedoras prevê que em 2015 a declividade limite pode subir para até 22%, se forem incorporados os avanços sugeridos.

Deve-se destacar que toda a expansão prevista neste estudo se dará sem queimada da cana, o que implica numa colheita de cana mecanizada. Nos estudos realizados para a geração de energia elétrica e produção de bioetanol pela hidrólise, considerou-se a recuperação de parte da palha da cana.

Atenção especial deve ser dada às áreas de implantação dos projetos, a fim de minimizar os impactos ambientais locais, favorecer as áreas com maior aptidão agrícola e ambiental. Nesse sentido, o estabelecimento de um zoneamento agroecológico da cana seria muito bem vindo como instrumento de orientação dos agentes envolvidos com a expansão da produção. Dos recursos naturais, deve se assegurar que os projetos contemplem um uso mínimo de água, seja na produção agrícola como também no processamento.

Outros indicadores de impactos econômicos, sociais e ambientais já foram quantificados nos itens anteriores deste estudo.

b) Garantir a liderança e a competitividade do setor sucroalcooleiro num cenário provável de transformação da indústria tradicional para uma indústria de energia, mais intensiva em recursos, tecnologia e com maior pressão sobre o meio ambiente

O Prêmio Nobel de Química, Alan MacDiarmid, recentemente falecido, disse na III Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, promovida em Brasília entre 16 e 18 de novembro de 2006, que, se o Brasil não tomasse as necessárias providências, perderia a vantagem tecnológica na produção de etanol.

Nos últimos anos, tem-se assistido a perda da liderança quantitativa da produção. Os EUA são, atualmente, os maiores produtores de bioetanol no mundo. Agora, assiste-se uma verdadeira corrida para o desenvolvimento da hidrólise (etanol de segunda geração). O controle desta tecnologia é considerado chave para que a produção de bioetanol possa atingir os volumes esperados com um uso mínimo de terras.

Esforços devem ser concentrados em P&D para que os custos de produção do bioetanol convencional e de segunda geração sejam reduzidos e que o combustível seja produzido segundo os critérios de sustentabilidade requeridos pelo mercado.

A fim de avaliar a situação atual da produção de bioetanol no país, foi inicialmente realizado um breve diagnóstico interdisciplinar do setor sucroalcooleiro, apresentado a seguir.

10.7.1. Breve diagnóstico da situação do setor sucroalcooleiro no Brasil e suas perspectivas futuras

Verifica-se, nas últimas décadas, um forte crescimento da produção de cana-de-açúcar no país, principalmente na região Centro-Sul, para atender as demandas internas e externas de açúcar e etanol. Isto faz com que este segmento se consolide como um gerador de energia renovável, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis, desenvolvendo o cenário agrícola nacional e projetando o Brasil internacionalmente.

O atual cenário de expansão do mercado internacional de açúcar e álcool, bem como as perspectivas de aumento da participação do Brasil, podem ser considerados como fatores motivadores da expansão da exploração da cultura da cana-de-açúcar.

Esta liderança e competitividade mundial não estão garantidas no médio e longo prazos, pois países como a Austrália e Tailândia têm custos de produção de açúcar não muito maiores que os nossos, podendo crescer ainda mais sua produção total.

No caso do álcool, os países desenvolvidos investem pesadamente na produção de bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos, tanto por hidrólise como pelas rotas de gaseificação (Fischer-Tropsch e outras), com a expectativa de atingirem custos de produção, no médio prazo, semelhantes aos atuais do Brasil. Vale destacar a situação dos EUA, o maior produtor e consumidor de bioetanol do mundo com 34,2 bilhões de litros produzidos em 2008, que possui um mercado interno potencial em torno de 60 bilhões de litros de etanol, considerando-se a mistura de 10% de bioetanol em toda gasolina consumida no país.

O quadro atual de produção de álcool no Brasil pode ser resumido pelas seguintes observações:

- O Brasil tem o menor custo de produção de álcool no mundo e possui condições excepcionais para ampliar várias vezes a produção atual em um período de 20 anos;



- Apesar da importância atual do álcool em relação ao açúcar, ele ainda continua a ser produzido como um subproduto;
- O modelo de produção do Brasil, consorciando a produção de açúcar e álcool na mesma unidade industrial (usina com destilaria anexa), é único no mundo, mas começa a ser copiado;
- Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, no Brasil e no resto do mundo, privilegiam a produção de açúcar;
- Do ponto de vista energético, a energia primária da cana provém dos açúcares (1/3) e das fibras (2/3); hoje apenas o terço representado pelo açúcar é aproveitado em termos energéticos, e o aproveitamento do bagaço é apenas parcial, dado que as caldeiras poderiam operar a uma pressão mais elevada;
- Cresce o interesse pela geração de grandes excedentes de energia elétrica para a venda pelas usinas, porém, atualmente, pouco mais de 10% das usinas geram quantidades significativas deste excedente, que ainda está longe de ter a mesma importância econômica que o açúcar e álcool têm no faturamento das usinas;
- A tecnologia convencional de processamento da cana para produzir açúcar e álcool já atingiu um elevado grau de maturidade; existe relativamente pouca margem para ganhos incrementais, com exceção das áreas de economia de energia, redução do volume de vinhaça, otimização do aproveitamento energético da cana-de-açúcar e seus subprodutos;
- A mecanização da colheita de cana e o aumento da porcentagem colhida sem queima da palha é uma tendência inexorável;
- Existem, em outros países, variedades de cana com elevados teores de fibra que podem dobrar a oferta de energia primária por unidade de área plantada. O processamento desta cana para otimizar o aproveitamento energético não está desenvolvido;
- A cana-de-açúcar está começando a ser olhada como uma fonte de energia (que já representa hoje 15% das fontes primárias utilizadas no Brasil), em vez de matéria-prima para a indústria de alimentos. No entanto, considerando o forte crescimento do mercado de bioetanol no mundo, haverá forte pressão sobre novas terras, sobre o meio ambiente e sobre os custos de produção;
- Finalmente, é importante que se reconheça que, embora o Brasil tenha realizado um significativo esforço e obtido apreciáveis resultados na produção de bioetanol nas últimas décadas, a produção científica e o número de patentes geradas pode ser considerado ainda baixo, o que é bastante preocupante;
- Também pode ser acrescido, tomando como referência a tecnologia da hidrólise, que o país está perdendo a corrida pelo domínio dessa tecnologia. Outros países estão fazendo um considerável esforço para o controle da tecnologia dos biocombustíveis de segunda geração.

Nesta escala, investimentos e PD&I devem assumir montantes consideráveis, devendo induzir ganhos de competitividade, mesmo em níveis mundiais.

A situação futura que se visualiza é a quebra do paradigma de cana-de-açúcar para produção de alimentos tendo energia (álcool, energia elétrica) como subprodutos importantes, e a migração para o conceito de cana de energia, que seria o desenvolvimento de variedades de cana visando a maximização da energia primária e o processamento desta matéria-prima de forma otimizada para produção de energias secundárias úteis, como combustíveis para transporte e energia elétrica.

As dificuldades desta transição estarão concentradas principalmente em:

- Mudança de uma cultura, já com vários séculos de uso, em um setor tradicionalmente conservador e avesso a mudanças;
- Levantar recursos para viabilizar o desenvolvimento tecnológico para o modelo futuro, uma vez que o setor produtivo tende a continuar investindo no processo convencional existente.

Dessa forma, será necessário contar com políticas públicas e recursos de fontes governamentais para estimular a transição. A criação de um Centro de Tecnologia de Energia da Cana ou Centro de Pesquisa de Álcool, e de um Fundo Setorial para esta área são passos indispensáveis para viabilizar a transição sugerida.

10.7.2. Objetivos das políticas públicas para P&D&I em etanol

Os objetivos de uma política pública para desenvolvimento da produção de bioetanol são apresentados em três grandes blocos:

Garantia da competitividade

- Garantir a competitividade a longo prazo do bioetanol e seus derivados através da redução de custos de forma sustentável;
- Aumentar a competitividade através da melhoria dos parâmetros técnicos da produção do etanol;
- Capacitar a indústria de bens de capital nacional para a inovação tecnológica;
- Gerar riqueza por meio da inovação científica e tecnológica (produção científica e patentes).



Planejamento da expansão da produção

- Planejar a expansão da produção de bioetanol no país;
- Formar recursos humanos qualificados para a expansão;
- Promover a revitalização das regiões tradicionais de produção de cana;
- Melhorar os parâmetros de sustentabilidade na produção e uso do etanol;
- Estimular desenvolvimento de novas regiões produtoras no país;
- Gerar novos e bons empregos diretos, indiretos e induzidos;
- Criar as condições para a transição ou o surgimento de uma nova indústria de energia (etanol e energia elétrica) com base na cana de açúcar;
- Capacitar a indústria de bens de capital nacional para a expansão da cadeia produtiva do etanol;
- Formular ou estudar um novo modelo de produção/propriedade;
- Examinar as opções produção de energia elétrica vs. hidrólise;
- Gerar condições para permitir a interiorização e regionalização do desenvolvimento, fundado na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor na cadeia produtiva cana-etanol.

Questões estratégicas globais

- Contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa;
- Contribuir para a redução da dependência de petróleo;
- Contribuir para o aumento das exportações de bioetanol ou mistura gasolina-etanol;
- **Orientar a política externa brasileira de modo a abrir e garantir novos mercados para o bioetanol combustível;**
- **Aumentar a inserção internacional competitiva brasileira.**

Do ponto de vista da produção de etanol, já se observa uma forte entrada de capital externo assumindo controle de usinas existentes e também investindo em novos empreendimentos. É de se esperar que o anterior controle absoluto das usinas pelo capital privado nacional dê lugar a um novo modelo de propriedade, à medida que a indústria muda. Pode-se antever que a produção futura estará parte nas mãos dos atuais usineiros, parte nas mãos do capital externo, e parte nas mãos de grupos nacionais não tradicionais no setor.

A fim de assegurar a consolidação do mercado, deve-se atuar externamente e não esperar que o mercado se consolide por si só. Nesse sentido, é fundamental a participação de empresas com experiência no mercado de combustíveis líquidos no exterior. No caso brasileiro, entende-se que cabe à Petrobras desempenhar um papel de destaque na criação e consolidação do comércio de bioetanol no mundo. Nenhuma outra empresa petrolífera reúne a experiência e o potencial da Petrobras neste setor.

10.7.3. Instrumentos de políticas públicas

Os instrumentos de políticas públicas podem ser entendidos como um conjunto de ações por meio do qual se implementam as políticas públicas propriamente ditas. Pode-se classificar os instrumentos de políticas públicas aqui examinados em duas categorias:

a) Instrumentos que reforçam a P&D no setor:

- Criação de um fundo setorial de bioetanol para o financiamento de P&D;
- Financiamento de tecnologias modernas e competitivas;
- Promoção do uso integral da cana e uso dos subprodutos;
- Retorno de *royalties* dos produtos (novas variedades, patentes) para refinanciamento de empresas;
- Identificação de matérias-primas que proporcionem as melhores características para uso energético;
- Intensificação do esforço em pesquisa para produzir bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos;
- Aumento de P&D em motores ciclo Otto e Diesel para uso com bioetanol ou mesclas;
- Aumento de P&D em novos materiais e lubrificantes, que reduzam os custos de manutenção decorrente do uso de biocombustíveis.

A P&D no assunto de biocombustíveis é ainda muito limitada em comparação com petróleo, gás e carvão mineral. A fim de incentivar esta nova indústria que está nascendo, deve-se alocar recursos para que a mesma se estruture e ganhe competitividade com os ganhos de escala. Deve-se, também, buscar maior participação do setor privado e da indústria no esforço de P&D no setor sucroalcooleiro.



b) Instrumentos de planejamento da expansão da produção:

- Estabelecimento de zoneamento agroecológico da cana;
- Definição de políticas de incentivos fiscais e de taxaço adequada;
- Promoção de investimentos em infra-estrutura e logística;
- Estabelecimento de parcerias de produção entre países (novos mercados);
- Divulgação das vantagens (lucros) em utilizar bioetanol no transporte associada a uma forte campanha de marketing.

Além disso, é preciso acordar maior atenção às questões ambientais, pois existe um temor, não infundado, da parte de ambientalistas, de que a cultura da cana-de-açúcar poderá deslocar outras culturas para áreas de proteção ambiental ou áreas de reserva. Para se evitar isso, é necessário que se vincule a aprovação de novos projetos a uma avaliação de impacto regional e nacional que considere o uso do território antes e após a implantação dos empreendimentos.

10.8. Implicações sobre o sistema de C&T brasileiro

Este item simula a necessidade de investimentos e de infraestrutura para atender os cenários de expansão de oferta de bioetanol desenvolvidos nesse estudo.

O sistema de C&T brasileiro adquiriu um porte considerável em função da sua trajetória de expansão. O país destinou 16,1 bilhões de reais para a P&D e empregou 165 mil pessoas de nível superior nessas atividades em 2004. Os recursos públicos são responsáveis por aproximadamente 60% dos gastos nacionais de P&D e o setor empresarial fica com a parcela restante.

Dentro do gasto público, em matéria de P&D, a agricultura ocupa um lugar de destaque em termos setoriais. Ela foi responsável por 11,3% dos gastos públicos em P&D em 2004. Os gastos públicos com o setor canavieiro são, entretanto, muito modestos, como visto anteriormente. Os gastos públicos anuais com a cultura de cana-de-açúcar devem se situar em torno de R\$ 10 milhões, enquanto o setor agrícola recebeu R\$ 1.057 milhões em 2004. A pesquisa relacionada com a cana-de-açúcar foi cada vez mais desenvolvida com recursos do setor privado, sobretudo após a extinção do Proálcool.

A realização dos cenários aqui estudados pressupõe que o peso do setor público venha aumentar novamente em P&D no complexo da agroindústria canavieira. Recursos oriundos de um fundo setorial aportariam recursos inicialmente da ordem de R\$ 200 milhões. Com a expansão das exportações no cenário analisado nesse estudo, esses recursos se expandiriam substancialmente. Os investimentos de natureza pública seriam complementados pelo mesmo montante de recursos provenientes do setor privado.

As implicações para o sistema de C&T brasileiros seriam bastante positivas. Este atingiu uma dimensão na sua capacidade de geração de novas competências que tornam plenamente factível a expansão requerida. Uma parte importante desses recursos deverá ser aplicada em novas regiões de expansão da cana, contribuindo para a descentralização das atividades de C&T no país.

O sistema setorial de C&T brasileiro em torno da cana-de-açúcar, composto pelas usinas e destilarias, os fornecedores de cana, os fabricantes de bens de capital e insumos, e as instituições de pesquisas e universidades, está plenamente habilitado para responder aos desafios tecnológicos exigidos para a execução dos cenários. Ele oferece, atualmente, condições de proporcionar os recursos necessários à expansão das atividades de C&T e de responder aos principais desafios tecnológicos dessa indústria.



Referências Bibliográficas

- ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. Cana-de-Açúcar: A Melhor Alternativa para Conversão da Energia Solar e Fóssil em Etanol. FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas) MB Associados Abril, 2001. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Brazilian Energy Balance 2005: Year 2004. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Plano de Longo Prazo – Projeção da Matriz 2022. Brasília, 2002.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Projeção da Matriz Energética Nacional 2005-2023. Brasília, 2004.
- COGGIOLA, O., OLIVEIRA, M., PAIVA, J. O veto à regulamentação do fundo nacional de desenvolvimento científico e tecnológico - FNDCT e os fundos setoriais – FS. Sindicato Nacional dos Docentes das Instituições de Ensino Superior – ANDES, 29/5/2006, <http://www.andes.org.br/imprensa/ultimas/contatoview.asp?key=4115> Acesso em: 20/02/07.
- DINARDO-MIRANDA, Leila L., VASCONCELOS, Antônio C.M., FERREIRA, J. M. G. et al. Efficiency of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) on sugarcane root froghopper *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae). *Neotropical Entomology*, Nov./Dec. 2004, vol.33, no.6, p.743-749. ISSN 1519-566X.
- DONZELLI, J. L. – Comunicação pessoal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2002. (CTC-Copersucar, 1997).
- EMBRAPA 2006; Experimento em cana-de-açúcar; Embrapa Informática Agropecuária; em <http://72.14.209.104/search?q=cache:UGF1GpjAGhgJ:www.cnptia.embrapa.br/projetos/ipi/ipi/homepage/cana.html+uso+fertilizante+cutura+cana&hl=pt-R&gl=br&ct=clnk&cd=1>
- ENDRES, P.F; PISSARRA, T.C.T.; BORGES, M.J., POLITANO, W.; Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP Brasil; *Eng. Agríc.* v.26 n.1 Jaboticabal ene./abr. 2006; em http://216.239.51.104/search?q=cache:ZLcARmXcoegJ:www.scielo.br/scielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DSo100-69162006000100022%26lng%3Des%26nrm%3D+UNICA+crescimento+can+a+a%3%A7%3%BACar+pastagem&hl=pt-BR&gl=br&ct=clnk&cd=7
- GOLDEMBERG, José. Pesquisa e desenvolvimentos na área de energia. v.14 no.3 São Paulo jul./sep. 2000. (Tabela 3).

Acesso em: 20/02/07.

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300014&lng=es&nrm=iso

IDEA – <http://www.ideaonline.com.br>

JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO(07/02/2007) – Caderno Dinheiro - Notícia : País precisa de cem novas usinas de bioetanol até 2010,jornalistas:Janaína Lage; Mauro Zafalo.

www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u114318.shtml

MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA -União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005. p. 148. Site PROSSIGA (22/12/2006): <http://prossiga.ibict.br>

Produção de álcool do Brasil das safras 1990/91 a 2005/06, site UNICA - <http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=refer%EAncia>

Site biodiesel:

<http://www.biodiesel.gov.br/docs/PLANONACIONALDOAGROENERGIA1.pdf>

Site UNICA:

www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u114318.shtml

The background features a lush green cornfield. Overlaid on this is a semi-transparent network diagram consisting of circular nodes connected by lines, suggesting a digital or data-related theme. A solid green vertical bar is positioned on the right side of the page.

Resultados e conclusões



Resultados e conclusões

Este livro resulta de uma série de estudos encomendados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), e realizados por uma equipe pluridisciplinar, majoritariamente da Unicamp, para avaliar a capacidade e o potencial do Brasil em expandir substancialmente sua produção de bioetanol combustível.

Coordenado pelo professor Rogério Cerqueira Leite e contando com a participação de mais de 20 pesquisadores, os estudos analisaram o cenário em que o Brasil forneceria, em 2025, 10% da demanda mundial de gasolina equivalente, em bioetanol produzido a partir de cana-de-açúcar; isso corresponderia ao Brasil exportar um volume de 205 bilhões de litros desse combustível renovável naquele ano.

A premissa básica para o trabalho foi que a expansão das áreas ocupadas com cana não poderia ser feita sobre áreas ocupadas com os biomas da Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica, e áreas protegidas; ainda mais, toda a expansão seria feita com colheita mecanizada da cana e sem a prática de queimadas. Considerando avanços nas áreas agrícola e industrial, seriam necessários 25 milhões de hectares (pouco mais do que a área atual ocupada com soja no Brasil) cultivados com cana para atender a produção de 205 bilhões de litros em 2025.

Os resultados do trabalho mostram que uma série de efeitos diretos, indiretos e induzidos decorrentes de uma eventual ampliação da produção de bioetanol combustível trariam diversos benefícios às regiões menos desenvolvidas do país, que qualificariam esse processo de expansão como um projeto nacional desenvolvimentista.

Pelas razões apontadas nesta obra e para atingir os ganhos de produtividade apontados no trabalho, particularmente aqueles obtidos pela viabilização da produção de bioetanol pela hidrólise enzimática, depreende-se que há uma grande necessidade de investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, como também se faz absolutamente necessária a criação de instâncias de inovação, que tenham a tarefa de construir as bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis que está nascendo no mundo e que encontra no Brasil um grande referencial e potencial.

Em particular, a criação do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) pelo governo federal, no início de 2008, e que estará plenamente em operação em 2011, é resultado da consciência das necessidades de investimento em P&D apontadas nesse trabalho. A criação do CTBE é um convite à comuni-

dade científica brasileira para agregar grupos de pesquisa da cadeia cana-de-açúcar/bioetanol, como o Instituto Nacional de Biotecnologia do Bioetanol. Junto com esta comunidade, o CTBE pretende fazer PD&I internacionalmente competitivos. O desafio exige a construção de parcerias públicas e privadas, necessita de liderança de pesquisadores seniores e precisa contar com o entusiasmo de jovens pesquisadores. Será fundamental realizar pesquisa sobre sustentabilidade social, econômica e ambiental do ciclo cana-de-açúcar/bioetanol.

Assim, este livro pretende responder às seguintes perguntas: qual é a capacidade do país em expandir sua produção de bioetanol combustível, e quais são os principais impactos dessa expansão?

Pioneiro na produção de bioetanol combustível em larga escala, o Brasil consolidou-se como o país que conseguiu implementar o maior programa de energia alternativa e renovável do planeta até o momento. O uso do bioetanol misturado à gasolina no país é prática corrente desde a década de 1920; entretanto, motivado por circunstâncias estratégicas e econômicas advindas da primeira crise do petróleo na década de 1970, o governo brasileiro criou o Proálcool em 1975 para fazer do bioetanol de cana-de-açúcar um dos principais combustíveis da matriz energética nacional.

Fato é, com um histórico próximo de 35 anos, o programa, entre erros e acertos, ajudou o país a ter no bioetanol um combustível renovável e competitivo do ponto de vista econômico com a gasolina. Atualmente, no Brasil, em termos do volume comercializado, a soma do álcool anidro misturado à gasolina com o álcool hidratado carburante é maior que a gasolina.

Com o setor sucroalcooleiro desregulamentado desde 1999, e com o álcool hidratado apresentando seu preço entre 50% a 60% do preço da gasolina em boa parte do território nacional, o lançamento dos veículos *flex fuel* em 2003, que usam qualquer mistura de gasolina com álcool, alavancou as vendas domésticas, e conseqüentemente, a produção desse combustível renovável. Em 2008, foram vendidos 2,1 milhões de automóveis *flex fuel*, correspondendo a 94% das vendas de automóveis novos; no Brasil, a produção de bioetanol combustível em 2008 foi 122% superior à de 2002, tendo a produção de álcool hidratado aumentado 229% no mesmo período.

No cenário internacional, as questões relacionadas às fortes oscilações do preço do petróleo, da segurança energética, dos aspectos geopolíticos dos países onde se encontram as maiores reservas e das conseqüências em termos de mudança do clima provocadas pelas emissões de gases de efeito estufa, têm direcionado os países a buscarem fontes limpas e alternativas de energia; entre elas, o bioetanol tem marcado presença como uma das rotas atrativas para auxiliar esse processo.



Vários países têm criado uma agenda para biocombustíveis; embora apresente um balanço de emissões de gases de efeito estufa e uma relação de produção de energia renovável por consumo de energia fóssil inferiores ao bioetanol de cana brasileiro, a produção e o consumo de bioetanol combustível obtido a partir de milho nos Estados Unidos, que consomem metade da gasolina do mundo, aumentou 323% entre 2002 e 2008, de tal modo que, atualmente, os norte americanos são os maiores produtores mundiais de etanol, seguidos pelo Brasil.

Dado o fato que uma mistura de até 10% (em volume) de bioetanol anidro à gasolina não requer alteração alguma nos atuais motores dos automóveis de ciclo Otto movidos a gasolina em todo o mundo, e que esta adição ajudaria a aliviar a pressão sobre o uso de combustíveis fósseis, surge, naturalmente, a discussão sobre as possibilidades do bioetanol combustível se tornar uma *commodity* internacional.

Pela experiência acumulada em mais de três décadas na produção de bioetanol combustível, pela elevada produtividade por hectare cultivado de cana (mais que 6.000 litros por hectare ao ano, em média, em contraste aos 3.500 litros por hectare a partir do milho nos EUA) e pela imensa disponibilidade de terras agriculturáveis, o Brasil ocupa, por seus fatores naturais e por sua competência desenvolvida, como o país mais competitivo, caso um mercado internacional para o bioetanol combustível venha se concretizar.

De acordo com o IBGE, em 2008 a produção de cana no Brasil alcançou 648 milhões de toneladas, ocupando uma área de 8,1 milhões de hectares; toda a agricultura brasileira ocupa cerca de 70 milhões de hectares (sendo a soja responsável por cerca de 21 milhões de hectares) e a atividade agropecuária ocupa ao redor de 200 milhões de hectares, com a presença média de uma cabeça por hectare. De acordo com a Embrapa, há no Cerrado mais de 80 milhões de hectares aptos e disponíveis para a expansão da prática agrícola, e, ainda mais, há no país entre 30 a 50 milhões de hectares com pastos degradados, que poderiam ser recuperados para o cultivo agrícola sem a necessidade de ocupar nenhuma área nova. Como se vê, as oportunidades para o Brasil expandir suas atividades agrícolas são imensas, o que pode incluir o cultivo da cana-de-açúcar para fins energéticos.

Tanto no contexto nacional quanto no internacional, o aumento expressivo da demanda interna por álcool hidratado nos últimos cinco anos e a percepção da possibilidade da formação de um mercado internacional para o bioetanol combustível, levaram ao interesse de se indagar sobre a capacidade, e seus principais impactos, de o Brasil expandir consideravelmente sua produção de etanol. Para realizar um estudo que pudesse responder a essa questão, o CGEE mobilizou um grupo

em torno de 20 pesquisadores, coordenados pelo professor Rogério Cerqueira Leite, que assumiu algumas premissas direcionadas para aspectos da sustentabilidade dessa expansão:

- 1 Supor um cenário em que o Brasil atenderia a 10% da demanda mundial de gasolina equivalente em bioetanol no ano de 2025. Como a demanda mundial projetada de gasolina em 2025 é de 1,7 trilhão de litros, o volume de 10% equivalente em bioetanol admitido foi estabelecido em 205 bilhões de litros naquele ano;
- 2 Para atingir esse volume, supôs-se que toda a expansão de cana-de-açúcar necessária ocorreria fora das regiões onde atualmente se concentra o essencial dessa produção, ou seja, em áreas que não contemplassem os estados de São Paulo e a faixa litorânea da região Nordeste entre os estados de Alagoas e Rio Grande do Norte. A intenção do estudo foi avaliar o potencial de áreas localizadas em estados das regiões Centro-Oeste e Nordeste, de tal modo que a expansão da cultura de cana-de-açúcar e de novas destilarias pudesse servir como um vetor de desenvolvimento para as regiões localizadas no interior do país;
- 3 As áreas potenciais identificadas para o cultivo de cana deveriam ter condições adequadas de solo e clima, o que inclui o cultivo de cana sem a necessidade de irrigação, e declividade inferior a 12% para permitir a prática da colheita da cana completamente mecanizada e sem a adoção de queimadas, eliminando também desse modo, a necessidade do emprego de trabalhadores bóias-frias;
- 4 Só foram computadas como áreas potenciais aquelas que atenderam as condições citadas em (iii), e que, ainda, estivessem excluídas dos três grandes biomas naturais remanescentes do país: Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica. Também não foram consideradas as áreas com algum tipo de restrição, identificadas como reservas ambientais, parques nacionais, áreas indígenas, áreas militares, áreas urbanas, etc.;
- 5 Foram excluídas, ainda, as áreas ocupadas com alguma prática agrícola (culturas permanentes e temporárias), e, para o ano de 2025, fez-se a dedução, ainda, das áreas que seriam ocupadas por outras culturas naquele ano (expansão de outras culturas agrícolas);
- 6 Para a sistematização da expansão da produção de bioetanol visando atender o cenário de exportação de 205 bilhões de litros em 2025, admitiu-se a concepção de uma destilaria padrão processando 2 milhões de toneladas de cana ao ano, ocupando uma área cultivada de cana de 28.000 ha e proporcionando uma área de 7.000 ha destinada como área de preservação permanente, e produzindo, nas condições tecnológicas atuais, 170 milhões de litros ao ano;
- 7 Dado o volume considerado nesse cenário de exportação ser muito elevado (8 vezes a atual produção de bioetanol brasileira), admitiu-se a formação de *clusters* de 15 destilarias padrão, que viabilizariam, desse modo, a atividade agroindustrial e o escoamento do



bioetanol produzido no interior do Brasil para os portos através de dutos, modal mais eficiente, com menor custo e com o menor impacto ambiental para esse objetivo;

- 8 Para 2025, admitiu-se a hipótese de ganhos de produtividade na área agrícola, bem como o surgimento da produção de bioetanol a partir do bagaço e da palha de cana, por meio do processo de hidrólise enzimática. Adicionalmente, considerou-se o aproveitamento otimizado do bagaço e da palha em excesso para a geração de excedentes de energia elétrica.

Os resultados advindos do estudo realizado são sumarizados a seguir:

- 1 O trabalho de levantamento das áreas aptas para o cultivo de cana-de-açúcar identificou 80 milhões de hectares completamente desimpedidos em 2025, dentro de todas as restrições mencionadas anteriormente. Em 64 milhões de hectares dessa área (pois os 16 milhões de hectares restantes seriam destinados como áreas de reserva legal) haveria o potencial de serem cultivadas 5,1 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar em 2025, capazes de produzir, com a tecnologia industrial atual, 435 bilhões de litros de bioetanol ao ano;
- 2 Entretanto, para atender o cenário de exportação de 205 bilhões de litros em 2025, e supondo-se ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial, seriam necessários somente 25 milhões de hectares (área próxima à ocupada com soja no país atualmente) cultivados com cana, em 17 áreas selecionadas predominantemente localizadas em estados das regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Em 2025, somando-se a demanda interna de bioetanol e a produção de açúcar para atender o mercado doméstico e as exportações, seriam necessários ao todo 33 milhões de hectares cultivados com cana, que proporcionariam 8,3 milhões de hectares preservados como área de reserva legal;
- 3 Para atender às exportações de 205 bilhões de litros de bioetanol em 2025, admitindo-se os ganhos de produtividade demonstrados, seriam necessárias 1.004 destilarias. Nessa condição, as destilarias mais avançadas, operando uma segunda fase da tecnologia de hidrólise enzimática, produziriam por tonelada de cana processada 124,3 litros de bioetanol e gerariam um excedente de 54,7 kWh de eletricidade. Somando-se os ganhos de produtividade na fase agrícola, as unidades mais avançadas seriam capazes de produzir 11.104 litros por hectare de cana-de-açúcar;
- 4 O volume de investimentos necessários para atingir as metas do cenário de exportação são substanciais, mas perfeitamente compatíveis com o porte da economia brasileira; estima-se que os investimentos totais seriam de R\$ 402 bilhões em 20 anos (média de R\$ 20,1 bilhões ao ano), dos quais R\$ 35 bilhões seriam necessários para viabilizar a infraestrutura logística necessária para o escoamento das destilarias até os portos. Os impactos em termos da expansão do volume de exportações seriam significativos, alcançando um montante superior a US\$ 60 bilhões, valor aproximadamente 6 vezes superior às exportações do complexo da soja em 2005;

- 5 Os impactos sócioeconômicos gerados pelo volume de exportações de bioetanol em 2025 desencadeariam efeitos indiretos em vários setores da economia, e o efeito induzido gerado pela remuneração dos trabalhadores e dos capitalistas, acionaria um novo ciclo de consumo na economia doméstico, gerando ainda mais empregos e mais renda. Os efeitos totais (diretos, indiretos e induzidos) das exportações de bioetanol em 2025 gerariam um acréscimo no PIB nacional de R\$ 375 bilhões (em valores de 2005) ao ano, equivalente a 19,3% do PIB de 2005. Seriam gerados 9,6 milhões de empregos, dos quais 2,5 milhões devidos aos efeitos diretos e indiretos. Os investimentos necessários na aquisição das máquinas agrícolas para o cultivo da cana, na construção das novas destilarias e da infraestrutura logística necessária seriam responsáveis, computando-se todos os efeitos, por mais 1,0 milhão de empregos ao longo de 20 anos, ou seja, uma média de 50.000 novos empregos ao ano;
- 6 Os impactos regionais das exportações de 205 bilhões de litros de bioetanol são substanciais, sendo mais expressivos em regiões menos desenvolvidas do país, como o Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Nessa última região, o impacto do cenário analisado equivaleria a uma expansão do PIB de 2,28% a.a. durante 20 anos. Entre 2005 e 2025, o aumento da renda *per capita* na região Centro-Oeste seria de 28,2%, e na região Nordeste seria de 17,3%;
- 7 O excedente total líquido de eletricidade com os avanços tecnológicos seriam de 106,0 TWh (28,3% de todo o consumo de eletricidade no Brasil em 2005);
- 8 Em um *cluster* de 15 destilarias, que produziriam 2,55 bilhões de litros ao ano e ocupariam uma área plantada com cana-de-açúcar de 420.000 ha com o nível tecnológico atual, seriam gerados 74.700 empregos (computando-se os efeitos diretos, indiretos e induzidos), que proporcionariam uma renda por trabalhador 54,6% superior à média nacional de 2002.

Para atingir os ganhos de produtividade mencionados, especialmente aqueles na fase industrial, para que se possa viabilizar a segunda geração na produção de bioetanol e dobrar sua produtividade em relação ao uso da terra, um esforço considerável em pesquisa e desenvolvimento deverá ser feito no país.

Foram identificadas as áreas mais propícias para investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, particularmente, para a nova indústria de energia a partir da cana-de-açúcar que está surgindo. Examinou-se, também, a criação de um fundo de desenvolvimento para o etanol, com a análise das fontes de recursos.

Como a implicação maior da produção de grandes volumes de bioetanol e bioeletricidade é amenizar o aquecimento global no planeta, e tem como mérito aproveitar uma excelente oportunidade de desenvolvimento que se apresenta para o país, não se pode simplesmente replicar ou multiplicar o modo de produção existente hoje, que certamente não satisfaz as exigências da nova indústria



que está nascendo. Os incentivos deverão ser oferecidos a projetos que envolvam a aplicação de tecnologia de ponta, de modo a garantir a competitividade futura do setor.

Em uma breve análise das eficiências envolvidas no processo de fotossíntese, estima-se que a eficiência máxima possível de produtividade para a cana deva estar próxima de seu limite superior; atualmente, há relatos de produtividades próximas de 100 t/(ha.ano), produzindo 8.800 l de álcool (38 bep) sem o uso de bagaço e palha, que correspondem a 2/3 da fitomassa. Isto mostra que ganhos expressivos de produtividade da cana são difíceis de serem alcançados, a não ser por intermédio da hidrólise da fibra, pois o açúcar atingiu um excelente nível de produtividade.

As áreas mais propícias para investimentos em P&D foram divididas em quatro áreas: agrícola, industrial, energética e sustentabilidade. Sugere-se que estes investimentos devam priorizar:

- **Área Agrícola:** incentivos a projetos para a compreensão do processo de fotossíntese, bem como aqueles que visem à produção sustentada de cana, tais como desenvolvimento de novas variedades, plantio direto, mecanização de baixo impacto, fim das queimadas, recuperação da palha, desenvolvimento da cana-de-energia.
- **Área Industrial:** incentivos às tecnologias mais eficientes – especialmente as chamadas de segunda geração, que reduzam as perdas no processo, reduzam custos e as emissões de poluentes (gases e resíduos líquidos).
- **Área Energética:** incentivos a projetos que otimizem a geração e uso de energia, com sistemas de geração mais modernos e uso econômico do vapor no processo.
- **Área de Sustentabilidade:** estímulo a projetos com melhor preservação ambiental, melhoria do ambiente de produção, preservação da biodiversidade, projetos que melhorem indicadores ambientais e que reduzam os impactos negativos da produção sobre os recursos hídricos, solo e ar.

Pelas razões apontadas neste estudo, nota-se que há uma grande necessidade de investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro, como também se faz absolutamente necessária a criação de instâncias de inovação, que tenham a tarefa de construir as bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis que está nascendo no mundo e que encontra no Brasil um grande referencial e potencial.

O Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), criado pelo governo federal em 2008 e que entrará em plena operação a partir de 2011, é resultado da consciência das necessidades de investimento em P&D apontadas nesse trabalho. O Centro contará com 80 pesquisadores permanentes e mais 80 pesquisadores visitantes dedicados à pesquisa básica, ao desenvolvimento da tecnologia de produção de bioetanol pela hidrólise enzimática, ao desenvolvimento de um programa de me-

canização de baixo impacto para o plantio direto da cana-de-açúcar, à análise de sustentabilidade das tecnologias avaliadas e à criação de uma biorrefinaria virtual para avaliar o nível de sucesso das diversas rotas tecnológicas estudadas.

A criação do CTBE é um convite à comunidade científica brasileira para agregar grupos de pesquisa da cadeia cana-de-açúcar/bioetanol, como o Instituto Nacional de Biotecnologia do Bioetanol. Junto com esta comunidade, o CTBE pretende fazer PD&I internacionalmente competitivos. O desafio exige a construção de parcerias públicas e privadas, necessita de liderança de pesquisadores seniores e precisa contar com o entusiasmo de jovens pesquisadores. Será fundamental realizar pesquisa sobre sustentabilidade social, econômica e ambiental do ciclo cana-de-açúcar/bioetanol.

