



cg ee



# Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar **Fase II**

Relatório Técnico Final

# **Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar – Fase II**

## **Relatório Técnico Final**



Brasília, DF  
Junho, 2010

---

## Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

### **Presidenta**

*Lucia Carvalho Pinto de Melo*

### **Diretor Executivo**

*Marcio de Miranda Santos*

### **Diretores**

*Antonio Carlos Filgueira Galvão*

*Fernando Cosme Rizzo Assunção*

Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar – Fase II. Relatório Técnico Final. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

395 p : il.

1. Produção de Bioetanol - Brasil. 2. Tecnologias Agrícolas – Brasil. - Brasil. I. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. II. Título.

*Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE  
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 – 15º Termo Aditivo/Ação: Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de Etanol – Subação: Sustentabilidade - Etanol - Fase II - 51.22.4/MCT/2009.

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 à fonte.

---

# **Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar – Fase II**

## **Relatório Técnico Final**

### **Supervisão**

*Marcio de Miranda Santos*

### **Consultor**

*Luis Augusto Barbosa Cortez (Coordenador)*

### **Equipe técnica do CGEE**

*Marcelo Khaled Poppe (Líder)*

*Olívia Felício Pereira*



## GRUPO DE TRABALHO

### **PARTICIPANTES**

### **INSTITUIÇÃO**

---

Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dr. André Tosi Furtado	IG/NIPE/UNICAMP
Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. José Teixeira Filho	FEAGRI/UNICAMP
Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. Heitor Cantarella	APTA
Dr. Isaias de Carvalho Macedo	NIPE/UNICAMP
Dr. Joaquim Seabra	NIPE/UNICAMP
Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira	UNIFEI
Dr. Manoel Regis Lima Verde Leal	CENEA/CTBE
Doutorando Marcelo Pereira da Cunha	NIPE/UNICAMP
Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima	CTBE
Dr. Paulo S. Graziano Magalhães	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dra. Raffaella Rossetto	APTA
Dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite	NIPE/UNICAMP
Dra. Silvia Azucena Nebra	NIPE/UNICAMP
Dr. Weber Antônio Neves do Amaral	ESALQ/USP

### **INSTITUIÇÕES CONTRATADAS**

UniSoma Matemática para Produtividade S.A  
ICONE (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais)

### **SUPOORTE**

---

Isis Maria Ditrich Demário Fujii	CTBE
Rodolfo Dourado Maia Gomes	NIPE/UNICAMP

# SUMÁRIO

<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>i</b>
------------------------------------	----------

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>	<b>iii</b>
--------------------------------	------------

<b>OE1. CONTINUIDADE DOS ESTUDOS DOS NEXOS AGRO-ECOLÓGICOS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>13</b>
---	-----------

## **1.1 Impacto das novas tecnologias sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa** **13**

1.1.1 Apresentação.....	13
1.1.2 Introdução .....	13
1.1.3 Colheita de cana-de-açúcar crua - sequestro/emissão de CO <sub>2</sub> .....	16
1.1.4 Colheita de cana-de-açúcar crua – Gases efeito Estufa.....	19
1.1.5 Recuperação da palha.....	21
1.1.6 Sistemas de Plantio Direto (NT) e Convencional (CT) .....	27
1.1.7 Controle de tráfego .....	33
1.1.8 Agricultura de precisão .....	34
1.1.9 Uso de biocombustíveis (etanol e biodiesel) na lavoura e no transporte de cana. 36	
1.1.9.1 Estimativa do consumo de diesel na agroindústria canavieira .....	37
1.1.9.2 Cenários considerados para o uso dos biocombustíveis.....	38
1.1.9.3 Modelagem dos impactos da adoção dos biocombustíveis: consumo e emissões 39	
1.1.9.4 Impacto energético da adoção de biocombustíveis na produção de etanol... 41	
1.1.9.5 Impacto da adoção de biocombustíveis sobre as emissões na produção de etanol 44	
1.1.10 Incremento da escala (capacidade de moagem) das usinas de açúcar e etanol 45	
1.1.11 Adoção de modais mais eficientes para o transporte do etanol.....	48

## **1.2 Exame do impacto da produção de etanol no balanço hídrico nas regiões de expansão .....** **51** |

1.2.1 Apresentação.....	51
1.2.2 Zoneamento agrícola .....	53
1.2.3 Bacia do Paraná .....	55
1.2.4 Águas Subterrâneas .....	55
1.2.5 Águas Superficiais .....	57
1.2.6 Balanço entre disponibilidade hídrica e demanda .....	59
1.2.7 Cultivo da Cana .....	62
1.2.8 Conclusão .....	62
1.2.8.1 O Workshop.....	63
1.2.9 A água é (ou será) um recurso natural limitante na produção de bioetanol em um sistema sustentável? .....	64
1.2.10 Qual é a demanda real de água (agrícola) para a produção de etanol de cana de açúcar (m <sup>3</sup> /GJ)? .....	70
1.2.11 Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: diagnose e propostas de adaptação e mitigação em bacias hidrográficas nos diferentes Biomas brasileiros. ....	75
1.2.12 Qual a situação atual de algumas bacias quanto a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos?.....	77
1.2.13 Com os modelos matemáticos existentes é possível prever com precisão o impacto que as alterações do uso da terra causam na demanda de água? Quais informações são necessárias para alimentar estes modelos? Dependem de experimentos de campo? .....	80

1.2.14 A prática agrícola de irrigação é viável de ser aplicada na região de expansão com deficiência hídrica? Quais são os benefícios (energéticos, financeiros, ambiental) da implementação desta prática?..... 80

**1.3 Contribuição do Setor Sucroalcooleiro Para a Matriz Energética e Para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil..... 86**

1.3.1 Alternativas para uso do bagaço e palha de cana no seqüestro de carbono: permanência da palha no campo, uso para geração de energia elétrica e carvoejamento da palha..... 86

1.3.2 Novas opções de fertilizantes e impactos gerados pelos insumos na área de fertilidade do solo e adubação para a cultura da cana-de-açúcar ..... 99

**1.4 Análise técnico-econômica da integração horticultura-destilaria de etanol visando o uso de CO<sub>2</sub> e utilidades da usina..... 112**

1.4.1 Introdução ..... 114

1.4.1.1 A Horticultura no Brasil ..... 114

1.4.1.2 O Cultivo Protegido ..... 120

1.4.1.3 Tendências para 2020 no Mercado da Alimentação no Brasil ..... 128

1.4.1.4 Integração Usina de Bioetanol e Estufa Agrícola (UB-EA) ..... 135

1.4.1.5 Conclusões ..... 157

**OE2. MAPEAMENTO DA EVOLUÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO SETOR SUCRO-ALCOOLEIRO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE NO BRASIL ..... 158**

**2.1 Panorama das emissões de GEE no Brasil e no mundo; e perspectivas mundiais, programas e metas de redução das emissões de GEE..... 158**

2.1.1 Introdução ..... 158

2.1.2 Evolução histórica das emissões..... 158

2.1.3 Perspectivas de evolução das emissões..... 169

2.1.3.1 Evolução das emissões no mundo – uso de energia ..... 169

2.1.3.2 Evolução das emissões no Brasil..... 175

2.1.4 Alternativas de mitigação ..... 177

2.1.4.1 Contexto mundial, relacionadas Uso de Energia..... 177

2.1.4.2 Contexto nacional..... 182

2.1.5 Compromissos assumidos até a COP15 ..... 184

**2.2 Perspectivas da matriz energética, participação do setor sucroalcooleiro em relação a emissões de GEE no Brasil ..... 186**

2.2.1 Introdução ..... 186

2.2.2 Evolução da matriz energética nacional..... 186

2.2.2.1 Aspectos históricos ..... 186

2.2.3 Perspectivas até 2030..... 193

**2.3 Perspectivas de redução de emissões na produção de etanol e bioeletricidade: etapas agrícola e industrial ..... 198**

2.3.1 Introdução ..... 198

2.3.2 Perspectivas de redução na produção de etanol ..... 198

2.3.3 Perspectivas de redução na produção de eletricidade ..... 200

**2.4 Perspectivas de redução de emissões no transporte (cana e etanol) e uso final do etanol ..... 201**

2.4.1 Introdução ..... 201

2.4.2 Perspectivas de redução das emissões no transporte ..... 202

2.4.3 Perspectivas de redução das emissões no uso final ..... 206



<b>2.5</b>	<b>Perspectivas da evolução dos principais indicadores de sustentabilidade (social, ambiental, econômica) e trajetórias tecnológicas no setor e sua relação com as emissões de GEE</b> .....	<b>214</b>
2.5.1	Metodologia – análise de insumo-produto.....	214
2.5.2	Estimativa das matrizes de insumo-produto.....	220
2.5.3	Resultados .....	223
<b>2.6</b>	<b>Perspectivas de redução de emissões dos poluentes não GEE pelos veículos a etanol (E25, E100 e flex) nas grandes cidades brasileiras</b> .....	<b>225</b>
2.6.1	Introdução .....	225
2.6.2	Legislações de Controle de Emissões Veiculares .....	227
2.6.2.1	Legislação americana .....	227
2.6.2.2	Legislação brasileira.....	230
2.6.3	Avanços Tecnológicos nos Veículos Leves Devido á Legislação Ambiental .....	231
2.6.3.1	O passado .....	231
2.6.3.2	O Presente.....	236
2.6.3.3	O Futuro.....	237
2.6.3.4	Evolução tecnológica dos motores .....	240
2.6.3.5	Veículos híbridos e elétricos .....	242
2.6.4	Comentários Finais .....	246
<b>2.7</b>	<b>Estudo introdutório das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil</b> <b>247</b>	
2.7.1	Introdução .....	247
2.7.2	Metodologia.....	248
2.7.3	Atividades .....	251
2.7.4	Indicadores pecuários .....	252
2.7.5	Realização dos estudos .....	253
2.7.5.1	Premissas gerais .....	253
2.7.5.2	Estudo 1.....	261
2.7.5.3	Estudo 2.....	266
2.7.5.4	Estudo 3.....	269
2.7.5.5	Estudo 3 - Cenário 1 .....	270
2.7.5.6	Estudo 3 - Cenário 2 .....	272
2.7.5.7	Estudo 3 - Cenário 3 .....	275
2.7.5.8	Estudo 3 - Cenário 4 .....	277
2.7.6	Modelo Matemático para manejo bovino.....	279
2.7.7	Avaliação das emissões de gases de efeito estufa.....	279
2.7.8	Comentários finais.....	287

### **OE3. CONTINUAÇÃO DOS ESTUDOS DAS EMISSÕES DE GEE NA CADEIA PRODUTIVA DO ETANOL ..... 289**

<b>3.1</b>	<b>Uso de Energia Fóssil e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção Integrada de Etanol e Biodiesel</b> .....	<b>289</b>
3.1.1	Introdução .....	289
3.1.2	Os Biocombustíveis Líquidos no Brasil.....	290
3.1.2.1	Etanol .....	290
3.1.2.2	Biodiesel .....	292
3.1.3	Metodologia.....	294
3.1.3.1	Sistemas selecionados .....	294
3.1.3.2	Avaliação do uso de energia fóssil e emissões de GEE .....	297
3.1.4	Resultados .....	298
3.1.5	Conclusões.....	301

<b>3.2</b>	<b>Desenvolvimento de Uma Metodologia de Alocação para Avaliar Mudança no Uso da Terra</b> .....	<b>302</b>
------------	--	------------

3.2.1	Mudanças no uso da terra e biocombustíveis – contexto atual e objetivos do estudo	303
3.2.2	Análise descritiva dos dados de uso da terra no Brasil.....	306
3.2.3	Proposta Metodológica .....	312
3.2.3.1	Primeira etapa: Estimativa dos coeficientes de substituição de usos produtivos e vegetação nativa – mudança direta no uso da terra (LUC).....	313
3.2.3.2	Segunda etapa: Estabelecimento da relação de causa-efeito entre expansão da demanda de etanol e conversão de vegetação nativa – mudança indireta no uso da terra (ILUC) .....	315
3.2.3.3	Terceira etapa: Metodologia do cálculo de emissões de GEE associadas à expansão do etanol no Brasil.....	320
3.2.4	Resultados .....	322
3.2.4.1	Padrão histórico de substituição entre os diversos usos agropecuários no Brasil e o avanço destes usos sobre vegetação nativa .....	322
3.2.4.2	Efeito indireto da mudança no uso da terra causada pela expansão de cana-de-açúcar para etanol .....	329
3.2.4.3	Emissões de GEE associadas à expansão do etanol no Brasil – fator de ILUC.....	331
3.2.5	Aplicações e Considerações finais .....	332
<b>3.3</b>	<b>Indicadores de Sustentabilidade Agrícola para a Produção de Etanol - Um estudo de caso sobre o cumprimento das legislações ambientais: Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais e, Planos de Aplicação de Vinhaça na região de Piracicaba, SP e sobre as oportunidades a melhoria da contabilidade de carbono e para a redução das emissões dos gases de efeito estufa.....</b>	<b>335</b>
3.3.1	Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais .....	335
3.3.1.1	Contexto do Código Florestal – Áreas de Preservação Permanentes (APP) e Reservas Legais (RL): cumprimento das exigências legais e a importância destas áreas para a conservação da biodiversidade .....	335
3.3.1.2	Objetivo .....	337
3.3.1.3	Metodologia e principais resultados encontrados.....	337
3.3.1.4	Conclusões e recomendações sobre as oportunidades para otimização dos balanços de carbono nas análises de ciclo de vida do etanol.....	340
3.3.2	Diagnóstico dos Planos de Aplicação de Vinhaça na região de Piracicaba .....	341
3.3.2.1	Contexto sobre produção de vinhaça e importância para a sustentabilidade.....	341
3.3.2.2	Caracterização da vinhaça .....	342
3.3.2.3	Objetivo .....	344
3.3.2.4	Metodologia para o diagnóstico dos Planos de Aplicação de Vinhaça na região de abrangência da Agência Ambiental de Piracicaba e principais resultados obtidos..	345
3.3.2.5	Conclusões e recomendações sobre as oportunidades para otimização dos balanços de carbono nas análises de ciclo de vida do etanol.....	348
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>349</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>373</b>

## Considerações Iniciais

---

A seguir é apresentado o Relatório Final do Projeto CGEE/CTE "Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-açúcar-Fase 2" conhecido como projeto Sustentabilidade Fase 2.

O projeto precedente, denominado Sustentabilidade Fase 1 (Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-açúcar-Fase 1) contou ainda com a colaboração do NIPE/UNICAMP e teve como objetivo analisar vários tópicos relacionados à sustentabilidade da produção e uso do etanol de cana de açúcar no Brasil, focando também nas possibilidades de reduzir as emissões de GEE neste processo.

O projeto ora apresentado, Sustentabilidade Fase 2, tem o objetivo de discutir e apresentar a contribuição do setor sucroalcooleiro para a redução de emissões dos gases do efeito estufa (GEE) do Brasil. O etanol de cana-de-açúcar já apresenta bons indicadores nessa área dos GEE exemplificado pela relação de 8-9:1 de energia renovável produzida/energia fóssil utilizada na produção, mas pode avançar mais seja pela maior participação do etanol em substituição à gasolina, pela maior geração de eletricidade a partir da cana-de-açúcar ou ainda pela redução destas emissões em algumas etapas da cadeia produtiva.

Para o leitor deste relatório sugere-se que primeiro entenda as possibilidades de melhorias tecnológicas na atual cadeia produtiva do etanol, incluindo a etapa agrícola, seus impactos ambientais locais (água e ar) e nas emissões de GEE, assim como o potencial de integração com a produção de alimentos.

Na OE1, tratam-se das tecnologias e insumos (água e fertilizantes) voltados à produção de etanol de cana-de-açúcar. São apresentadas as tecnologias, suas tendências e contribuições futuras para a redução dos GEE. Salienta-se entre outras, a necessidade de se valorizar a recuperação da palha, decorrente da colheita de cana sem queimar, assim como sua utilização. O aproveitamento racional dos recursos integrais da cana-de-açúcar pode ser considerado estratégico para o país em função da sua quantidade e possibilidades que apresenta, como por exemplo através da produção integrada de alimentos junto às usinas com estufas agrícolas.

Na OE2 são apresentadas as tendências e possibilidades de redução de emissões de gases não GEE ligadas ao uso final automotivo do etanol de cana-de-açúcar, o avanço dos motores entre outras, e a integração do setor sucroalcooleiro na Matriz Energética Nacional. Ainda nesta parte do relatório é desenvolvido de forma mais avançada um estudo que começou a ser tratado na Fase 1, sobre a integração da pecuária à produção de etanol de cana-de-açúcar. São avaliadas também várias opções de redução de emissões de GEE em pontos específicos da cadeia produtiva do etanol, utilizando diferentes abordagens e metodologias.

Finalmente na OE3 são apresentados estudos sobre as emissões de GEE ao longo de toda a cadeia produtiva do etanol de cana-de-açúcar, os trabalhos sobre a mudança do uso da terra no Brasil e seus impactos sobre as emissões de GEE e um estudo de caso do setor onde são incorporadas algumas das exigências ambientais vigentes para o setor.

Procurou-se através deste estudo (Fase 2) verificar quais poderiam ser as contribuições do setor sucroalcooleiro para a redução das emissões de GEE no Brasil, com enfoque na maior participação da cana-de-açúcar entre as fontes de primárias de energia no Brasil e também pela redução do uso de fontes fósseis de energia na sua cadeia produtiva.

É importante esclarecer que as diferentes partes deste estudo foram feitas por diferentes autores de diferentes grupos de pesquisa, mas citando diferentes fontes e referências o que pode ter levado a considerar valores ou parâmetros um pouco diferentes. É também importante salientar que certos temas foram abordados mais de uma vez no relatório e seria tão difícil quanto indesejável reduzi-los ou mesmo suprimi-los. Preferiu-se, outrossim,

conservá-los o que dá ao leitor uma mostra da complexidade do assunto quando visto por diferentes ângulos.

Estes assuntos, obviamente, não se esgotam neste relatório. Pretende-se agora dar continuidade aos mesmos seja através do CTBE e suas parcerias nacionais e estrangeiras, quando o assunto assim exigir, seja, pela importância através do próprio CGEE e sua rede de colaborações que envolvem um amplo leque de temas e interesses.

Os Coordenadores

# OE1. Continuidade dos estudos dos nexos agro-ecológicos da produção de etanol de cana-de-açúcar

## 1.1. Impacto das novas tecnologias sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa<sup>1</sup>

A **colheita mecanizada** representa hoje um percentual superior a 50% no Brasil sendo, que em São Paulo ultrapassa os 70%. Devido aos protocolos de intenções a área colhida sem queimar no Estado de São Paulo já chegou a 55% do total plantado na safra passada, ou seja, 2,2 milhões de ha. A **palha da cana-de-açúcar** é uma fonte renovável com alto potencial de geração de energia, disponível em grande quantidade nos canaviais, podendo ser, juntamente com o bagaço e o etanol, um substituto sustentável e de baixo custo para os combustíveis fósseis. O impacto do manejo do solo nas emissões de GEE é complexo e depende do tipo de solo e de qual sistema de preparo é empregado, podendo variar desde o cultivo convencional (CT), com intensa aeração do solo e incorporação de matéria orgânica até o **plantio direto** (NT), onde o solo é minimamente mobilizado e matéria vegetal remanescentes da cultura anterior é mantida sobre o solo, contribuindo para a manutenção da umidade, estrutura do solo e redução de infestação de ervas daninha. O **tráfego de máquinas** sobre a área de cultivo causa compactação de solos, alterando sua estrutura, dificultando a troca gasosa e afetando a produtividade. A **agricultura de precisão** (AP) tem como cerne a análise da variabilidade espacial dos fatores de produção, a partir da contínua obtenção de informações espacialmente detalhadas da cultura seguida da utilização adequada dessas informações para otimizar o manejo. Assim, as propriedades do solo relacionadas com o desempenho de colheita, como produtividade, consumo de água e de nutrientes; impactos ambientais, como contaminação da água com herbicidas, pesticidas e nitratos, eutrofização de sistemas aquáticos de água doce com fosfato de escoamentos superficial e sedimentos; emissão de gases de óxido de nitrogênio que tem papéis críticos na química da troposfera e estratosfera e poluição do ar; e processos de degradação do solo, como perda de matéria orgânica, decréscimo da biodiversidade e erosão de solos. A expansão da produção de cana para novas fronteiras agrícolas tem permitido um adensamento das áreas cultivadas dentro de raios econômicos de transporte desse produto agrícola desde o campo até as usinas e justificado um significativo incremento das **escalas de produção**, com interessantes ganhos de rendimento e redução de custos. Também associado à expansão da produção de etanol em regiões mais afastadas dos mercados consumidores mais importantes, bem como às possibilidades de exportação desse biocombustível, tem avançado de forma interessante algumas propostas de implantação de **transporte dutoviário**, justificando que sejam efetuadas avaliações sobre alterações nas emissões de GEE resultantes da adoção desses modais frente ao transporte rodoviário que ainda predomina no país. Esses aspectos são objeto de levantamento de informações e caracterização de cenários, permitindo modelar e estimar os impactos das novas tecnologias sobre as emissões de GEE.

---

<sup>1</sup> Pesquisadores responsáveis: Prof. Paulo S. Graziano Magalhães (Feagri/UNICAMP); Prof. L.A. Horta Nogueira (UNIFEI).

## 1.2. Exame do impacto da produção de etanol no balanço hídrico nas regiões de expansão<sup>2</sup>

A região da **Bacia do Paraná** encontra-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções, devido principalmente a conflitos de usos com a irrigação, com alguns rios apresentando situação preocupante e críticas na região de expansão da cana-de-açúcar. Apesar desta situação aparentemente confortável na região e da não utilização da prática de irrigação como técnica agrícola para se aumentar a produtividade da cultura, observa-se que o **Zoneamento Agrícola - Cana** não levou em conta as conseqüências da alteração do uso da terra nesta bacia. Uma análise crítica permite suscitar algumas perguntas em relação a disponibilidade hídrica para a produção etanol nesta região para garantir uma produção com sustentabilidade. A seguir serão descritas as principais questões tecnológicas na alteração do uso da terra na área de expansão na Bacia do Paraná para produção de etanol, identificando perguntas chave que caracterizam o desenvolvimento científico tecnológico necessário: a) A água é (ou será) um recurso natural limitante na produção de bioetanol em um sistema sustentável? b) Qual é a **demanda real** de água (agrícola) para a produção de etanol de cana de açúcar ( $m^3/GJ$ )? d) Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: diagnose e propostas de adaptação e mitigação em bacias hidrográficas nos diferentes Biomas brasileiros. e) Com os **modelos matemáticos** existentes é possível prever com precisão o impacto que as alterações do uso da terra causam na demanda de água? Quais informações são necessárias para alimentar estes modelos? Dependem de experimentos de campo? f) A prática agrícola de **irrigação** é viável de ser aplicada na região de expansão com deficiência hídrica? Quais são os benefícios (energéticos, financeiros, ambiental) da implementação desta prática? g) Qual a situação atual de algumas bacias quanto a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos? Para ajudar a responder a estas questões tecnológicas foi organizado um workshop com a presença de especialistas do Brasil e do Exterior, cujo resultado é apresentado no relatório final.

## 1.3. Contribuição do Setor Sucroalcooleiro Para a Matriz Energética e Para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil<sup>3</sup>

### 1.3.1 Alternativas para uso do bagaço e palha de cana no seqüestro de carbono: permanência da palha no campo, uso para geração de energia elétrica e carvoejamento da palha

Inicialmente discute-se sobre os reservatórios de C do planeta, e sua interligação. O reservatório pedológico, é o terceiro em ordem de grandeza. Existe ciclagem entre os reservatórios. O **C retido no solo** como matéria orgânica ou carvão, pode ser ciclado para atmosfera quanto mais intensas forem as práticas agrícolas. A cana-de-açúcar produz entre 8 a 20 t/ha de **palhada** (em base seca). A palhada também exerce vários efeitos agrônômicos importantes, com o controle da erosão, o maior armazenamento de água no perfil do solo e a ciclagem de nutrientes, a maior produtividade da cultura, entre outros. Estudos realizados pela Copersucar, apontaram que a **manutenção de cerca de 40% da palha são** suficientes para manter a qualidade do solo. Esses números provavelmente

---

<sup>2</sup> Pesquisadores responsáveis: Paulo S. Graziano Magalhães (FEAGRI/UNICAMP), Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol), Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP), Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP).

<sup>3</sup> Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios), Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP), Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

poderão variar dependendo da região, condição climática e tipo de solo. Neste item discute-se sobre a alternativa para mitigar o efeito estufa por meio da estocagem de C no solo por longos prazos a exemplo da aplicação de carvão (**biocharcoal**), oriundo da carbonização sob baixo O<sub>2</sub> de resíduos vegetais.

### **1.3.2 Novas opções de fertilizantes e impactos gerados pelos insumos na área de fertilidade do solo e adubação para a cultura da cana-de-açúcar**

As maiores emissões de GEE estão associadas aos **fertilizantes nitrogenados**. Além disso, discute-se também as perdas por lixiviação de nitratos. Assim, discutem-se os novos processos industriais na sucroquímica e alcoolquímica e que geram resíduos com **nutrientes que podem ser aproveitados** para o cultivo da cana, a exemplo da produção de lisina, de glutamato monossódico e de ácido cítrico. Descreve-se a potencialidade do uso do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para a cana. Discute-se também sobre algumas jazidas de potássio pouco exploradas no Brasil, e também sobre o melhor aproveitamento das rochas fosfáticas na produção de fertilizantes fosfatados.

### **1.4. Análise técnico-econômica da integração horticultura-destilaria de etanol visando uso de CO<sub>2</sub> e utilidades da usina<sup>4</sup>**

A valorização dos subprodutos da produção do bioetanol pode facilitar a implantação de projetos de estufas agrícolas reduzindo os custos de operação via o uso do CO<sub>2</sub> das dornas de fermentação (para o aumento da taxa da fotossíntese), a recuperação da energia térmica residual (para o aquecimento e desumidificação das estufas), o uso do bagaço (para a fabricação substratos) e o uso da vinhaça. Neste estudo, utilizou-se uma usina padrão com capacidade de moagem de 2 M t de cana e produzindo 40 L etanol/t cana, gerando 15.200 t de CO<sub>2</sub> /dia e o equivalente à 866,8 GJ de energia térmica de baixa temperatura (à partir da recuperação do calor residual da vinhaça). A análise de rendimento de uma estufa de tomate integrada à usina demonstrou que o **rendimento agrícola passa à 65 kg/m<sup>2</sup> e o custo de produção por kg de produto colhido é reduzido de 24%**. A rentabilidade do projeto aumenta em 58% com um rendimento bruto em torno de R\$ 1,2 milhões/ha e apresenta um retorno sobre o investimento menor que 1 ano.

---

<sup>4</sup> Pesquisadores responsáveis: Andrés da Silva, Marcelo Cunha (CTBE) e Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP).

## **OE2. Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-Alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil**

### **2.1. Panorama das emissões de GEE no Brasil e no mundo; e perspectivas mundiais, programas e metas de redução das emissões de GEE<sup>5</sup>**

A contribuição estimada do Brasil em relação às emissões mundiais supera 4%. As emissões brasileiras são sobretudo devido à Mudança do Uso da Terra e Desmatamento, e representam pouco menos de 60% do total. Na categoria Uso da Energia, as maiores emissões são devido à **queima de combustíveis fósseis em transportes, representando quase 6% das emissões totais**. No Brasil, as principais ações para a redução das emissões devem ser o combate o desmatamento. De acordo com um recente estudo do Banco Mundial, analisado no relatório, do total de redução de emissões de GEE em um Cenário Baixo Carbono, em 2030 (695 MtCO<sub>2</sub>e), quase 50% das reduções de emissões seriam decorrentes de ações de redução do desmatamento. Da redução total de emissões estimada para 2030, pouco mais de 23% poderiam ocorrer na categoria Uso de Energia, sobretudo com o aumento da eficiência de uso final de energia e a substituição de combustíveis fósseis em indústrias. O estudo do Banco Mundial também considerou o aumento das exportações de etanol produzido a partir da cana, no Brasil. Para um volume exportado de 70 bilhões de litros em 2030, a redução das emissões (não no Brasil) corresponderia a aproximadamente um terço da redução total das emissões do setor de energia, no país.

### **2.2. Perspectivas da matriz energética, participação do setor sucroalcooleiro em relação a emissões de GEE no Brasil<sup>6</sup>**

As perspectivas de evolução da matriz energética foram exploradas no contexto de dois cenários, embora seja difícil defini-los com rigor. Para a caracterização de um cenário tendencial, foi considerado o Plano Nacional de Energia 2030, da EPE, no qual a participação das fontes renováveis continuará muito relevante, embora com ligeira queda em relação ao que tem sido verificado nos últimos anos. No setor de transportes haveria aumento da participação tanto do etanol quanto do biodiesel, mas na geração de eletricidade, em função da premissa de que será preciso diversificar a matriz de geração, também haverá aumento da geração anual a partir de fontes fósseis, como gás natural, carvão mineral e derivados de petróleo. Neste relatório, um cenário alternativo, de baixas emissões de GEE, foi caracterizado a partir de um estudo que foi recentemente divulgado pelo Banco Mundial. No que diz respeito às fontes renováveis, no estudo foram analisadas a geração de eletricidade em larga escala a partir da biomassa residual da cana de açúcar e a geração eólica, bem como o aumento do consumo doméstico de etanol, em substituição à gasolina. Comparados os dois cenários, as reduções de emissões de gases de efeito estufa devido ao setor sucroalcooleiro são relativamente modestas. Primeiro, porque em relação ao Cenário Tendencial não há espaço para a significativa ampliação do consumo doméstico de etanol em substituição à gasolina. Segundo, porque os baixos fatores de emissão de gases de efeito estufa, na matriz elétrica brasileira, não permitem grande contribuição da produção de eletricidade em larga escala a partir da biomassa residual da cana.

---

<sup>5</sup> Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP) e Sérgio Valdir Bajay (FEM/NIPE/UNICAMP)

<sup>6</sup> Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP) e Sérgio Valdir Bajay (FEM/NIPE/UNICAMP)



### 2.3. Perspectivas de redução de emissões na produção de etanol e bioeletricidade: etapas agrícola e industrial<sup>7</sup>

Neste estudo as perspectivas de redução das emissões de GEF na produção de etanol foram analisadas a partir de informações disponíveis em estudos específicos, que têm o médio prazo como horizonte. **Em aproximadamente 15 anos as emissões no ciclo de vida do etanol hidratado poderiam ser reduzidas de 417 para 330 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> de etanol, enquanto no ciclo de vida do etanol anidro a redução é estimada de 436 para 345 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup>** (i.e., pouco superiores a 20% nos dois casos). Nessas avaliações não são consideradas as emissões devido à mudança do uso da terra e tampouco as emissões decorrentes do transporte de etanol da unidade produtora até os postos de combustíveis. Quase a totalidade das emissões reduzidas seriam decorrentes da não queima da cana antes da colheita. Haveria, em contrapartida, em função do aumento da mecanização, maior consumo de diesel, e aumento de suas emissões. Essa tendência poderia ser anulada, no futuro, com o emprego de etanol aditivado nos motores de ignição por compressão das colheitadeiras e dos caminhões. No caso da produção de eletricidade, a hipótese na análise feita é que as emissões da atividade canavieira são todas elas imputadas ao etanol, e não ao bagaço (e à palha), que é utilizado como combustível nos sistemas de cogeração. Assim, as emissões da geração de eletricidade com uso da biomassa residual da cana continuariam nulas. As reduções das emissões de GEE foram avaliadas em função da evolução da geração de eletricidade e dos fatores de emissão de GEE estimados para o setor elétrico. Como o estudo utilizado como referência para o setor elétrico brasileiro até 2030 (o PNE 2030) prevê uma redução das emissões de GEE entre 2010 e 2030 (de 94 para 79 kg CO<sub>2</sub>/MWh), o efeito positivo da geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana viria exclusivamente do significativo aumento da geração (quatro vezes maior na comparação dos dois cenários considerados). A análise foi complementada com a consideração de diferentes fatores de emissão no setor elétrico, supondo que a evolução no Cenário Referência não seja exatamente aquela prevista no PNE 2030.

### 2.4. Perspectivas de redução de emissões no transporte (cana e etanol) e uso final do etanol<sup>8</sup>

Consideradas as condições típicas de produção de etanol a partir da cana de açúcar no Brasil, e seu uso em substituição à gasolina, **as emissões diretas de gases de efeito estufa são estimadas em 21,8 kgCO<sub>2equ</sub>/GJ**, isso quando não são consideradas as emissões devido mudança do uso da terra e sem que sejam computados créditos decorrentes da produção de eletricidade excedente. Com créditos que correspondem à produção de apenas 10 kWh/tc excedente, as emissões diretas cairiam para 12,4 kgCO<sub>2equ</sub>/GJ. Nessas condições, as emissões evitadas em relação ao ciclo de vida da gasolina automotiva, quando não há ganhos de eficiência na substituição entre combustíveis, são estimadas em 85%. Aproximadamente 34% das emissões diretas no ciclo de vida do etanol correspondem ao consumo de diesel em máquinas agrícolas e em caminhões, para o transporte de cana e de etanol (da usina para os postos de consumo). A alternativa que foi explorada neste relatório é o uso de etanol aditivado em motores diesel, em substituição ao diesel mineral. Tecnicamente, a situação corresponde ao emprego de caminhões com motores por ignição por compressão, similares aos que são empregados em ônibus, na Suécia, e que utilizam E95 (95% de etanol, 5% de "beneficiador de ignição" – derivado de glicol polietileno). O fabricante tem uma versão de caminhões com esses motores. Os resultados obtidos indicam que o a substituição integral do diesel mineral por etanol aditivado nos caminhões que transportam cana permitiria que as emissões nessa

---

<sup>7</sup> Pesquisadores responsáveis: Paulo S. Graziano Magalhães (FEAGRI/UNICAMP), Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

<sup>8</sup> Pesquisador responsável: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/UNICAMP).

etapa fossem reduzidas em 85% - de 2,18 para 0,33 kgCO<sub>2</sub>equ/GJ. Considerada a distribuição de etanol por caminhões, a mesma queda percentual poderia ser obtida. Simplificadamente, seria possível que as emissões evitadas em relação ao uso da gasolina automotiva chegassem a 93%, tanto no uso no Brasil como na Europa. O consumo de etanol aditivado em motores diesel é tecnicamente possível no caso dos caminhões. Economicamente, a alternativa precisa ser analisada. Entretanto, do ponto de vista energético é mais adequado o emprego de modais de transporte tais como dutos e o fluvial, mas a viabilidade depende do volume a ser transportado e, conseqüentemente, do planejamento da logística.

## **2.5. Perspectivas da evolução dos principais indicadores de sustentabilidade (social, ambiental, econômica) e trajetórias tecnológicas no setor e sua relação com as emissões de GEE<sup>9</sup>**

Para prover uma análise integrada da produção de etanol dentro da cadeia produtiva, os indicadores foram estimados usando-se a análise de insumo-produto, de tal modo que as perspectivas de alterações na matriz energética brasileira, na produção de cana e na produção de etanol foram introduzidas na cadeia produtiva da economia. Os indicadores foram quantificados para a produção de cana-de-açúcar e para a produção de etanol, dizendo respeito (i) ao nível da atividade setorial em toda a economia, (ii) ao produto interno bruto, (iii) empregos gerados e remuneração média dos trabalhadores, (iv) energia primária incorporada (com distinção entre a parcela renovável e a não-renovável) e (v) emissões de CO<sub>2</sub> devido ao uso de combustíveis fósseis. Em relação aos indicadores socioeconômicos, destacam-se o processo de aumento de integração da cadeia produtiva de etanol e cana com outros setores fornecedores de insumos, a contínua redução nos empregos gerados por unidade produzida, mas com acompanhamento contínuo e expressivo da remuneração dos trabalhadores, que possuem melhor grau de instrução. O advento da mecanização da produção de cana usando o óleo diesel é responsável pelo aumento do indicador de energia primária incorporada e pela redução da parcela de energia renovável, mas em valores insignificantes. Ao longo do tempo, os ganhos de produtividade da produção de etanol por tonelada de cana-de-açúcar processada continuam a fazer do etanol de cana uma alternativa substancial em termos da redução das emissões de gases de efeito estufa ao substituir a gasolina. A inclusão da produção do etanol celulósico contribui para a melhoria desses indicadores, embora no cenário analisado fosse suposto que somente 11,5% da produção de etanol no país em 2030 seria a partir da 2<sup>a</sup> geração.

---

<sup>9</sup> Pesquisadores responsáveis: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP), Marcelo Cunha (NIPE/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

## 2.6. Perspectivas de redução de emissões dos poluentes não GEE pelos veículos a etanol (E25, E100 e flex) nas grandes cidades brasileiras<sup>10</sup>

Nos veículos leves, as melhorias básicas foram a introdução de injeção e controle de ignição eletrônicos, o canister, o conversor catalítico de três vias e a sonda lambda. Com estes avanços tecnológicos as vantagens ambientais foram reduzidas já que os veículos leves atendiam os limites de emissões tanto com a gasolina como com o etanol. No Brasil, a partir de 2003 o lançamento de veículos flex fuel mudou o panorama da frota de veículos leves, então dominada pela gasolina. Hoje já existem cerca de 10 milhões de veículos flex rodando majoritariamente com etanol, revertendo o quadro de declínio deste biocombustível. Do ponto de vista de impacto do etanol na redução dos impactos negativos, um trabalho de simulação realizado pela USP mostrou vários cenários de substituição da gasolina por etanol onde o aumento do uso de etanol na frota de veículos leves reduziria drasticamente o número de internações hospitalares, mortes prematuras e gastas com saúde na Região metropolitana de São Paulo. Se o desenvolvimento tecnológico dos veículos automotores nos últimos 20 a 30 anos foi impulsionado pela obrigatoriedade de reduzir emissões de poluentes, no futuro este desenvolvimento será motivado pela imposição de reduzir consumo de combustível e emissões de GEE, conforme aponta as novas legislações americanas e européias. Além das melhorias gradativas nas tecnologias atuais como redução do atrito nos motores, acionamento variável das válvulas de admissão e escape, redução de tamanho, sobrealimentação e desativação de cilindros em baixa carga outras mudanças mais radicais estão sendo introduzidas como a injeção direta de gasolina nos cilindros, os veículos híbridos, veículos elétricos e veículos a célula a combustível. Estas duas últimas alternativas ainda enfrentam dificuldades, principalmente relacionadas aos custos muito elevados. É importante que se consiga que o etanol não fique de fora de desenvolvimento tecnológico, pois com o aumento da sofisticação tecnológica, é cada vez mais mandatório que as melhorias sejam conseguidas com o conjunto motor/combustível/sistema de tratamento dos gases analisado e desenvolvido como um todo. O potencial de ganhos é muito significativo e o etanol tem uma série de vantagens como combustível que poderá levar mais longe estes ganhos, desde que não fique de fora do processo de desenvolvimento tecnológico.

## 2.7. Estudo introdutório das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil<sup>11</sup>

Estudos foram realizados para mostrar a viabilidade de integração destilaria-pecuária com uso de áreas de pastos e cana compatíveis em termos das disponibilidades de criação de gado nas fases de recria e engorda. Esta compatibilidade é estudada através de modelagem matemática dos ciclos de compra de bezerros para recria e venda de bois gordos ao longo de um horizonte de 120 meses, para o qual são conhecidas as variações de preços de compra de bezerros e venda de bois. São também conhecidos preços de potenciais insumos. A alimentação dos animais pode ser feita nos pastos, com ou sem suplementação, e em períodos de confinamento em até três períodos diferentes ao longo do ano usando ração formulada com bagaço excedente hidrolisado e in natura, além de farelo de soja e milho resultantes de plantio em áreas de reforma de cana, e, possivelmente, de fornecedores externos. Para as alternativas de ocupação de pastos e alimentação dos animais são feitas considerações sobre a produção de GEE. Os seguintes estudos foram realizados: **Estudo 1** - Avaliação da integração ótima de áreas para destilaria e pecuária;

---

<sup>10</sup> Pesquisador responsável: Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

<sup>11</sup> Pesquisadores responsáveis: Miguel Taube Netto (UniSoma Matemática para Produtividade) e Joaquim Seabra (CTBE).

**Estudo 2** - Custo oportunidade do bagaço; **Estudo 3** - Uma avaliação macro das possibilidades de "clusters" de destilarias às quais são associadas áreas originalmente de pastos. As seguintes conclusões decorrem desses estudos: a) Sob as condições de todos os cenários avaliados, a integração destilaria-pecuária traz benefícios zootécnicos e financeiros que justificam a sua utilização. É também possível avaliar que o uso da integração poderá diminuir a necessidade de terras para pecuária, diminuindo a pressão para ocupação de novas áreas em regiões de floresta ou de baixa produtividade; b) As considerações sobre emissões de GEE indicam que a integração, devido ao adensamento de bovinos e menores tempos de abate, também favorece a redução de emissões tendo como referência os valores de ocupação da atividade extensiva, e que, portanto, deveria ser considerada como uma alternativa sustentável para a expansão da cana; c) O referencial utilizado de uma "destilaria padrão" pode ser extrapolado para um "cluster" de usinas na região analisada, denominada "A04" em estudos anteriores (CGEE, 2009), no sul de Goiás, levando em conta o histórico de custos e preços da atividade agroindustrial naquela região.

## **OE3. Continuação dos Estudos das Emissões de GEE na Cadeia Produtiva do Etanol**

### **3.1. Uso de Energia Fóssil e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção Integrada de Etanol e Biodiesel<sup>12</sup>**

O objetivo deste trabalho foi analisar o benefício ambiental deste tipo de integração, através da avaliação do seu impacto no uso de energia fóssil e nas emissões de gases de efeito estufa associados à produção do etanol. Foi analisado um sistema de produção hipotético no qual soja seria cultivada nas áreas de renovação da cana. O óleo extraído da soja seria a matéria-prima para a produção de biodiesel numa planta anexa à usina de cana, o qual seria utilizado como combustível substituto ao diesel (B5) para o cultivo da cana. Verificou-se que a integração da produção de etanol e biodiesel contribuiria significativamente para a redução de emissões de GEE e, principalmente, uso de energia fóssil na cadeia produtiva do etanol. Comparado com o caso de referência, o sistema integrado avaliado aqui permitiria que o consumo de energia fóssil fosse reduzido de 69 para 4 kJ/MJ de etanol, enquanto que as emissões passariam de 18,9 para 13,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de etanol. Essa produção integrada se mostra como uma importante opção para a independência da produção de etanol por recursos fósseis, sem a necessidade de ocupação de novas áreas. Além disso, em sistemas de maior escala, que utilizariam matérias-primas externas ao sistema da cana, o biodiesel excedente co-produzido também contaria com a importante vantagem ambiental da utilização do bagaço como fonte energia na etapa de conversão. Todas estas opções são ambientalmente atrativas, mas os aspectos sócio-econômicos devem ser igualmente analisados para que a sustentabilidade desses sistemas possa ser avaliada de forma abrangente.

---

<sup>12</sup> Pesquisador responsável: Joaquim Seabra (CTBE).

### 3.2. Desenvolvimento de Uma Metodologia de Alocação para Avaliar Mudança no Uso da Terra<sup>13</sup>

O objetivo deste projeto é contribuir para o avanço da discussão sobre metodologias de mensuração de ILUC, desenvolvendo uma rotina de análise baseada em uma abordagem de causa-efeito fundamentada em critérios de alocação das mudanças no uso da terra. Os objetivos específicos do trabalho são: (i) definir um padrão histórico de substituição entre os diversos usos agropecuários no Brasil e o avanço destes usos sobre vegetação nativa; (ii) estimar o efeito indireto da mudança no uso da terra causada pela expansão de cana-de-açúcar para etanol; (iii) estimar um fator de emissões de mudança de uso da terra direto e indireto para expansão do etanol de cana-de-açúcar (fator de ILUC). Este trabalho propõe uma abordagem causal-descritiva coerente para o caso brasileiro, tanto do ponto de vista da dinâmica da produção agropecuária em geral, e da cana-de-açúcar para etanol em particular, quanto da disponibilidade de dados de mudança no uso da terra disponíveis no Brasil e já levantados e organizados pelo ICONE. Foram calculadas matrizes de substituição entre os diferentes usos, em termos absolutos e relativos, para cada região do Brasil. Tais matrizes ilustram a substituição direta entre usos do solo e indicam que da expansão total de cana-de-açúcar (2,4 milhões de hectares), foram convertidos apenas 9,7 mil ha de vegetação nativa. As matrizes de substituição direta foram utilizadas para calcular matrizes de substituição indireta, que indicaram que houve um total de 181 mil ha de vegetação nativa convertida indiretamente pelo avanço da cana-de-açúcar – o que representa cerca de 8% do crescimento total da cultura. As conversões diretas e indiretas, além das demais mudanças no uso da terra, provocaram emissões totais de 2,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente. Considerando o incremento da produção energética no período, obteve-se um fator de emissões diretas e indiretas (**fator de ILUC**) de **7,63 g CO<sub>2</sub>-eq/MJ**. O quadro a seguir resume os principais resultados deste estudo:

Emissões pela mudança direta no uso da terra (LUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	-46.884
Emissões pela mudança indireta no uso da terra (ILUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	2.462.069
Emissões totais pela mudança no uso da terra (LUC + ILUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	2.415.186
Produção adicional de ATR para etanol (Ton)	19.672.059
Conteúdo energético da produção adicional de etanol (Giga Joule)	248.330.532
Fator ILUC (g CO <sub>2</sub> eq / MJ)	7,63

Tanto o desenvolvimento da metodologia de alocação para avaliar mudanças no uso da terra, como os resultados dela obtidos, contribuem para o atual debate de sustentabilidade de bicomcombustíveis. A metodologia faz um esforço para deixar explícitas as hipóteses, dificuldades e limitações das análises de mudança no uso da terra. O presente estudo é a primeira e única experiência de metodologia determinística (ou de alocação) específica para a realidade brasileira, além da única proposta com rigor conceitual dentro dessa abordagem. Com isso, o Brasil se consolida não somente como expoente da produção e exportação de bicomcombustíveis, como também das análises dos impactos ambientais dessa produção.

<sup>13</sup> Pesquisador responsável: André Meloni Nassar (ICONE).

### **3.3. Indicadores de Sustentabilidade Agrícola para a Produção de Etanol - Um estudo de caso sobre o cumprimento das legislações ambientais: Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais e, Planos de Aplicação de Vinhaça na região de Piracicaba, SP e sobre as oportunidades a melhoria da contabilidade de carbono e para a redução das emissões dos gases de efeito estufa<sup>14</sup>**

Este projeto fundamenta-se na premissa que para o desenvolvimento de mercados globais para o etanol (especialmente aquele produzido a partir da cana de açúcar), a adoção de melhores práticas de produção da biomassa a ser utilizada, é fundamental para a sustentabilidade ambiental destes sistemas de produção. Este projeto estudou dois componentes importantes das exigências legais na área ambiental para a produção do etanol, usando como estudo de caso a região de Piracicaba, localizada no Estado de São Paulo: a) o cumprimento das exigências legais quanto à conservação de reservas legais (RL) e áreas de preservação permanentes (APP) e b) dos Planos de Aplicação de Vinhaça no campo, os quais estão atualmente entre os dois principais entraves para o cumprimento das certificações ambientais ligadas a produção de etanol, e em especial da cana de açúcar. Os resultados encontrados e analisados indicam que na região de Piracicaba aproximadamente 75% das áreas destinadas às áreas de preservação permanentes estão sendo respeitadas ou conservadas, porém o cumprimento das exigências quanto às reservas legais é ainda o principal entrave segundo a maioria dos pequenos e médios produtores rurais entrevistados, os quais ressaltaram a impossibilidade de atenderem as exigências atuais do Código Florestal. As oportunidades para gestão dos estoques de carbono (armazenamento) e emissões evitadas nos sistemas de produção da cana de açúcar na região de Piracicaba podem ser exploradas caso: a) as áreas de preservação permanentes e reservas legais possam ser contabilizadas como estoques de carbono nas paisagens ocupadas pela cana de açúcar, ou seja, considerando as exigências legais pela obrigatoriedade destas áreas, as mesmas deveriam ser computadas como créditos de carbono nas análises de ciclo de vida do etanol.

---

<sup>14</sup> Pesquisador responsável: Weber A. Neves do Amaral (ESALQ/USP).

## OE1. Continuidade dos estudos dos nexos agro-ecológicos da produção de etanol de cana-de-açúcar

---

### **1.1 Impacto das novas tecnologias sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa <sup>15</sup>**

#### **1.1.1 Apresentação**

Na fase anterior deste projeto “Estudo dos nexos agro-ecológicos locais da produção de etanol de cana-de-açúcar” foram caracterizadas as possíveis condições de produção de bioetanol em 2015 e 2025, consideradas as novas tecnologias agrícolas e industriais em desenvolvimento no país buscando primeiramente identificar os parâmetros relevantes de produção para a descrição das condições produtivas que servem de referência para as perspectivas apresentadas e seus possíveis impactos na produção sob o ponto de vista da sustentabilidade do sistema produtivo. Nesta fase do projeto objetivou-se a apresentar as implicações desta tecnologia nas emissões de GEE, positivas ou negativas, destacando as ações necessárias para melhorar a sustentabilidade do programa de bioetanol brasileiro. Para cada uma das cinco principais tecnologias, do setor agrícola, detectadas e destacadas, está sendo realizado um minucioso levantamento na bibliografia disponível procurando caracterizar o nível do conhecimento existente e as principais barreiras para o avanço deste. No relatório final será apresentado um balanço desta tecnologia e seus efeitos na cadeia produtiva. O presente relatório apresenta um estudo melhor detalhado de duas destas tecnologias e uma descrição os principais tópicos que serão abordados nas demais.

#### **1.1.2 Introdução**

O setor sucroalcooleiro no Brasil apresenta uma importante dinâmica tecnológica, com um processo permanente de apropriação de inovações nas etapas de produção agrícola, transporte de matéria prima, processamento e na gestão de toda a cadeia produtiva, visando objetivos complementares de incremento da produtividade e redução de custos, mitigação dos impactos ambientais e incremento da sustentabilidade. Com efeito, particularmente com referência ao último aspecto, diversos estudos voltados para a avaliação da sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar, considerando particularmente as condições observadas no Centro-Sul brasileiro, têm demonstrado de forma clara como esta cadeia produtiva apresenta indicadores positivos desde os pontos de vista ambiental, social e econômico (ver, por exemplo, Macedo, 2005). Entretanto, como decorrência de desenvolvimentos recentes nas atividades agrícolas e industriais, novos aperfeiçoamentos vêm sendo sugeridos ou efetivamente introduzidos, permitindo novos ganhos de eficiência, reduzindo os impactos ambientais associados a essa agroindústria e justificando estudos complementares, como apresentados nestas notas.

Considerando os temas tratados na fase anterior deste projeto e as novas perspectivas, são discutidas na presente nota os seguintes tópicos:

---

<sup>15</sup> Pesquisadores responsáveis: Prof. Paulo S. Graziano Magalhães (Feagri/UNICAMP); Prof. L.A. Horta Nogueira (UNIFEI).

- **Colheita de cana crua,**

Segundo a CONAB (2010) na safra 2009/2010 a área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira foi de 7,5 milhões de hectares, com uma produtividade média de 81,3 t/ha, sendo moídas 612 milhões de toneladas. São Paulo ainda é o maior estado produtor com 4,1 milhões de hectares e produtividade média de 86,4 t/ha, 3% inferior a safra passada, devido principalmente as altas precipitações pluviométricas que ocorreram no estado no final da safra. A colheita mecanizada representa hoje um percentual superior a 50% no Brasil sendo, que em São Paulo ultrapassa os 70%. Em virtude da pressão ambientalista e principalmente em função de leis federais e estaduais que estabeleceram prazos para a eliminação da prática da queimada, mas principalmente devido aos protocolos de intenções como o firmado entre o Governo do Estado de São Paulo e a UNICA (com adesão voluntária de seus associados) no qual aceita eliminar a queima nas áreas mecanizáveis até 2014, e nas áreas não mecanizáveis até 2017 (UNICA, 2007), a área colhida sem queimar no Estado de São Paulo já chegou a 55% do total plantado na safra passada, ou seja, 2,2 milhões de há.

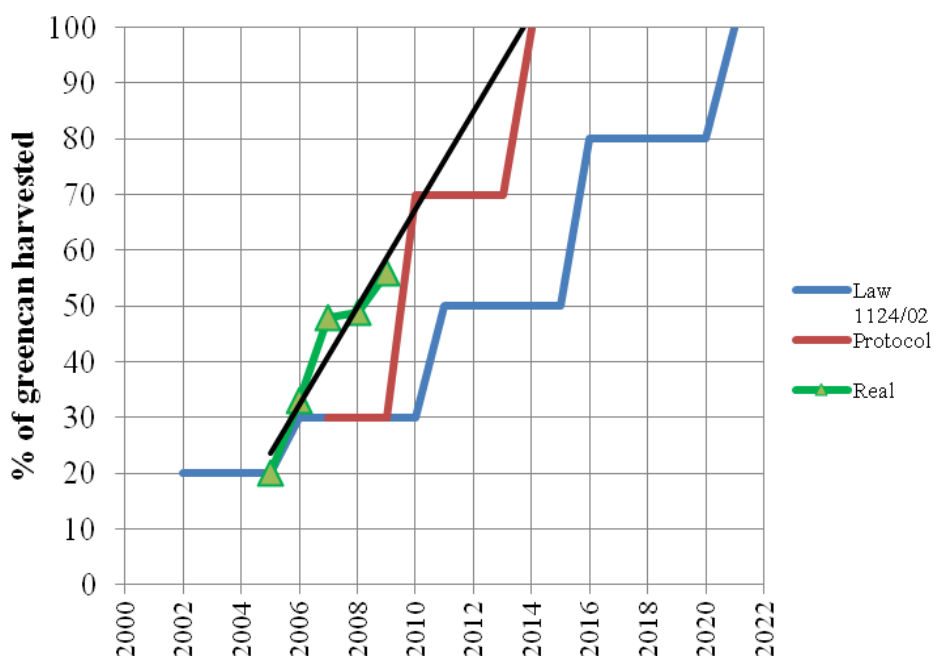


Figura 1 – Evolução da colheita de cana crua mecanizada do estado de São Paulo. (fonte NIPE).

- **Recuperação da palha,**

A palha da cana-de-açúcar é uma fonte renovável com alto potencial de geração de energia, disponível em grande quantidade nos canaviais, podendo ser, juntamente com o bagaço e o etanol, um substituto sustentável e de baixo custo para os combustíveis fósseis.



- **Plantio direto,**

O impacto do manejo do solo nas emissões de GEE é complexo e depende do tipo de solo e de qual sistema de preparo é empregado, podendo variar desde o cultivo convencional (CT), com intensa aeração do solo e incorporação de matéria orgânica até o plantio direto (NT), onde o solo é minimamente mobilizado e matéria vegetal remanescentes da cultura anterior é mantida sobre o solo, contribuindo para a manutenção da umidade, estrutura do solo e redução de infestação de ervas daninha. A prática do cultivo convencional contribui para a perda de C do solo e o plantio direto, onde a velocidade de decomposição dos resíduos decresce e os agregados do solo superficial ficam mais estáveis, o C do solo é potencialmente conservado na camada superficial. Na produção de cana-de-açúcar que está alterando de maneira drástica o processo de cultivo anual em virtude da não queima da palha e vislumbrando a possibilidade da adoção do sistema de plantio direto, este impacto precisa ainda ser mais bem avaliado.

- **Controle de tráfego,**

O tráfego de máquinas sobre a área de cultivo causa compactação de solos, alterando sua estrutura, dificultando a troca gasosa e afetando a produtividade. No cultivo da cana cujo processo de remoção da produção está associado com o tráfego intenso, o qual é praticado por meio de equipamentos com bitolas bastante diversas e em canaviais plantados com espaçamentos também bastante diversos, variando entre 1 e 1,5 m. A conclusão dessa combinação de parâmetros incompatíveis é uma elevada porcentagem de área trafegada.

- **Agricultura de Precisão.**

A agricultura de precisão (AP) tem como cerne a análise da variabilidade espacial dos fatores de produção, a partir da contínua obtenção de informações espacialmente detalhadas da cultura seguida da utilização adequada dessas informações para otimizar o manejo. Entre aos fatores relacionados à produção estão as propriedades físicas e químicas do solo. Tais atributos, além de variar no espaço, podem variar no tempo, para uma dada posição no espaço (BERNOUX et al., 1998). Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação do homem, deve se manifestar com maior intensidade em algumas propriedades que em outras (BRAGATO & PRIMAVERA, 1998, BURKE et al., 1999, SLOT et al., 2001). Assim, as propriedades do solo relacionadas com o desempenho de colheita, como produtividade, consumo de água e de nutrientes; impactos ambientais, como contaminação da água com herbicidas, pesticidas e nitratos, eutrofização de sistemas aquáticos de água doce com fosfato de escoamentos superficial e sedimentos; emissão de gases de óxido de nitrogênio que tem papéis críticos na química da troposfera e estratosfera e poluição do ar; e processos de degradação do solo, como perda de matéria orgânica, decréscimo da biodiversidade e erosão de solos, também variam no espaço (SPAROVEK; SCHNUG, 2001).

- **Uso de biocombustíveis (biodiesel e etanol) na lavoura e no transporte de cana.**

Com o desenvolvimento de técnicas para adequação do uso de biocombustíveis líquidos em motores de veículos pesados, empregados em caminhões e tratores, alterando a especificação dos combustíveis, ou alterando os motores ou ainda eventualmente considerando o uso de motores especialmente fabricados com esse fim, torna-se relevante explorar os efeitos da substituição dos combustíveis convencionais (essencialmente óleo diesel) amplamente adotados e responsáveis por uma parcela significativa das emissões atualmente observadas nessa agroindústria.

- **Incremento da escala (capacidade de moagem) das usinas de açúcar e etanol.**

A expansão da produção de cana para novas fronteiras agrícolas tem permitido um adensamento das áreas cultivadas dentro de raios econômicos de transporte desse produto agrícola desde o campo até as usinas e justificado um significativo incremento das escalas de produção, com interessantes ganhos de rendimento e redução de custos. Nesse sentido é oportuno avaliar os trade-off existentes entre os custos de transporte de matéria prima e os ganhos de produtividade, sob o ponto de vista das emissões de GEE.

- **Adoção de modais mais eficientes para o transporte do etanol.**

Também associado à expansão da produção de etanol em regiões mais afastadas dos mercados consumidores mais importantes, bem como às possibilidades de exportação desse biocombustível, tem avançado de forma interessante algumas propostas de implantação de transporte dutoviário, justificando que sejam efetuadas avaliações sobre alterações nas emissões de GEE resultantes da adoção desses modais frente ao transporte rodoviário que ainda predomina no país.

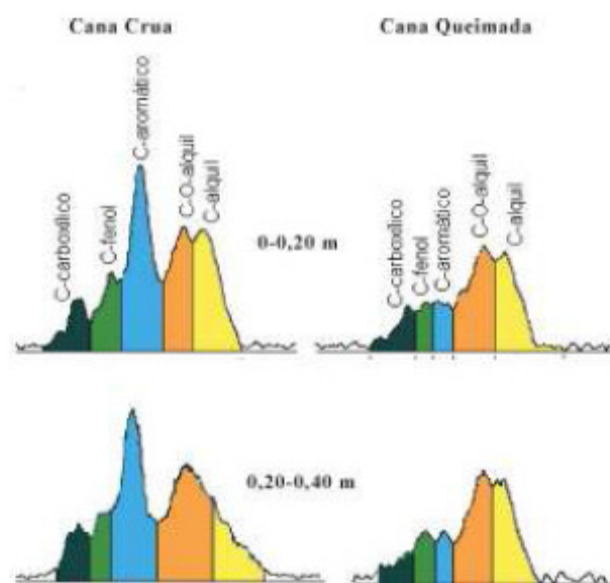
Esses aspectos são objeto de levantamento de informações e caracterização de cenários nos tópicos a seguir, permitindo modelar e estimar os impactos das novas tecnologias sobre as emissões de GEE.

### **1.1.3 Colheita de cana-de-açúcar crua - sequestro/emissão de CO<sub>2</sub>**

O declínio do estoque de C nas regiões de colheita de cana queimada já foi considerado por vários autores como um dos aspectos mais sério da degradação do solo que acontece nas áreas de cana-de-açúcar. Graham et al. (2002) em um estudo realizado na África do Sul, em uma área com mais de 60 anos com sistema de colheita de cana crua, comparando com áreas de cana queimada observaram que é evidente que a manutenção da cobertura com a palhada de cana é uma maneira efetiva de aumentar a quantidade de matéria orgânica no solo (MOS), não só na camada superficial, mas também a concentração de várias frações de MOS instáveis a uma profundidade de até 300 mm. Estas alterações, segundo o autor, afetam outras propriedades do solo tais como condições estruturais, estabilidade de agregados, N do solo e atividades da fauna e microbiológicas que melhoram a sustentabilidade do sistema de produção da cana-de-açúcar.

Trabalho semelhante foi conduzido por CANELLAS et al. (2003) em uma região do norte do estado do Rio de Janeiro. Avaliando as propriedades do solo em área de

cana-de-açúcar com histórico de 55 anos sem queima e com a manutenção da palhada observaram melhorias nas propriedades químicas do solo, como aumento da CTC, redução do ponto de efeito salino nulo (PESN), aumento nos teores de micronutrientes e acúmulo de MOS. Também foram observadas alterações no processo de humificação, que incluíram acúmulo de ácidos húmicos nas áreas de preservação do palhicho. Comparando o efeito de longa duração do manejo da cana crua com o manejo da cana queimada, verifica-se um acréscimo da ordem de 70 e 77 % de carbono na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. O resultado da integração das áreas correspondentes aos principais tipos de C, é apresentada na Figura 2 (CANELLAS et al. 2007). O principal efeito da preservação do palhicho sobre a qualidade da MOS foi o aumento significativo na quantidade de C atribuído a compostos aromáticos e, ou, olefinas (deslocamento químico entre 110 e 150 ppm).



**Figura 2 - Espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CP-MAS de amostras intactas de um Cambissolo Háplico Tavértico do norte do Estado do Rio de Janeiro cultivado por 55 anos sem queima (Cana Crua) e com a despalha com fogo do canavial para a colheita (Cana Queimada). (fonte: CANELLAS et al. (2007)**

De forma geral, o baixo conteúdo de bases trocáveis nos solos mais intemperizados diminui a intensidade dos processos de humificação. Em regiões de temperaturas elevadas, solos com excessiva mobilização e submetidos a queimadas sofrem redução nos teores de matéria orgânica (ALEXANDRE, 1977 apud CANELLAS et al. 2003). O teor de carbono no solo mantém relação direta com a taxa de adição de resíduos orgânicos.

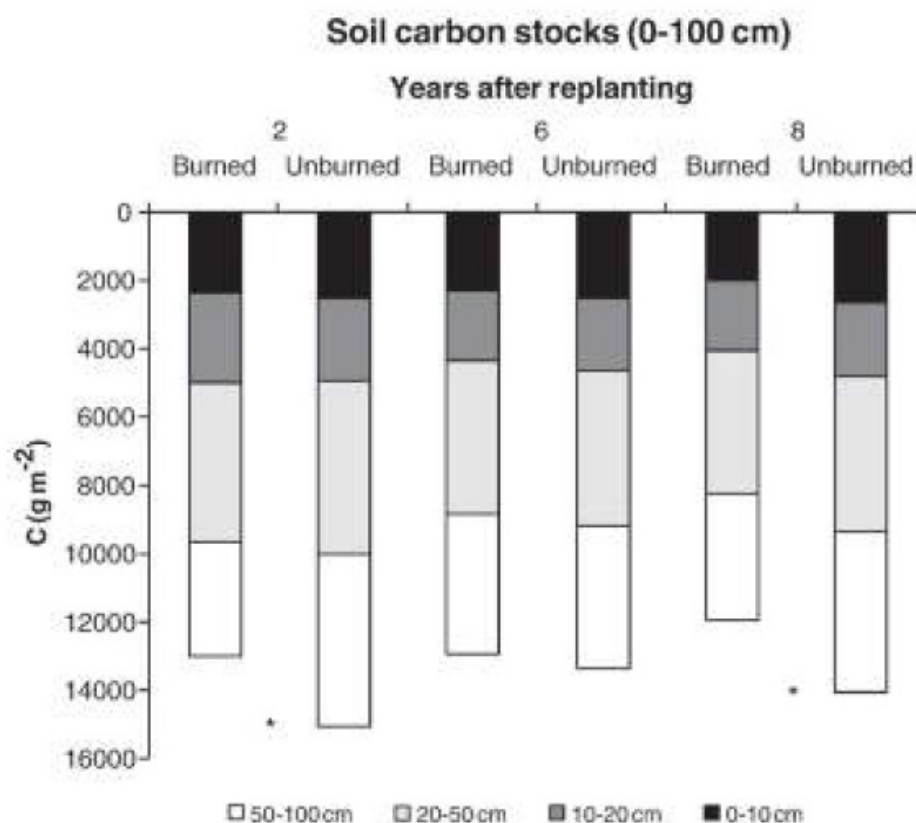
Qualquer alteração no uso ou manejo de solo induz a alteração do estoque de carbono, mesmo em sistemas agrícolas considerados estáveis. (Six et al., 2002; Lal, 2006). A colheita de cana-de-açúcar retorna uma grande quantidade de C ao solo, que de outra forma seriam perdida durante a queima de pré-limpeza, Tabela 1 (RAZAFIMBELO ET AL., 2006). Observa-se nesta tabela que no período de seis anos após o plantio em cana colhida sem queimar o acréscimo de CT na camada de 0-10 cm foi maior de 15%, quando comparado com a área colhida com cana queimada.

**Tabela 1 - Carbono total (g C kg<sup>-1</sup>), nitrogênio (g N kg<sup>-1</sup>) e razão C/N sob o cultivo de cana colhida queimada (BRU) e não crua (MUL) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm. (valores médios de seis repetições) (RAZAFIMBELO ET AL., 2006)**

Depth (cm)	Carbon (g C kg <sup>-1</sup> soil)		Nitrogen (g N kg <sup>-1</sup> soil)		C/N ratio	
	BUR	MUL	BUR	MUL	BUR	MUL
0-5	21.0 ± 1.7 Aa	25.2 ± 2.4 Ba	1.6 ± 0.2 Aa	1.9 ± 0.2 Ba	13.5 ± 1.5 Aa	13.5 ± 0.6 Aa
5-10	20.5 ± 2.3 Aa	22.3 ± 1.2 Ab	1.6 ± 0.2 Aa	1.7 ± 0.1 Aa	13.0 ± 1.5 Aa	13.1 ± 0.4 Aa
0-10	20.7 ± 1.9 A	23.7 ± 1.7 B	1.6 ± 0.2 A	1.8 ± 0.2 A	13.2 ± 1.5 A	13.3 ± 0.5 A

For a given depth layer, capital letters mark significant differences between treatments ( $p < 0.05$ ). For a given a treatment, lower-case letters mark significant differences between depth layers ( $p < 0.05$ ).

Galdos et al. (2009) destacam que além do estoque de carbono outros parâmetros podem ser utilizados para mensurar o impacto do manejo de resíduos na MOS. Com o objetivo de avaliar o efeito da palhada de cana-de-açúcar proveniente da colheita sem queima, na dinâmica do carbono, os autores estudaram duas cronossequências em áreas onde cana-de-açúcar havia sido replantada 2, 6 e 8 anos antes, e colhidas com e sem queima. O solo avaliado classificado como Oxissolo representa cerca de 60% dos solos onde a cana-de-açúcar é cultivada hoje. Foram analisadas propriedades físicas, densidade, teor de carbono total (CT), carbono particulado na matéria orgânica (C<sub>PMO</sub>) e carbono de biomassa microbiano (C<sub>BM</sub>). A área após 8 anos de plantio com cana crua apresentou estoque de CT maior que as áreas com cana queimada mostrando uma diferença de 1,2 Mg ha<sup>-1</sup> por ano nos primeiros 20 cm (Figura 3). Considerando que aproximadamente 5 milhões de ha são plantados em Oxissolos no Brasil o potencial de sequestro de carbono assumindo que 100% da área será colhida sem queima prévia é de 6,4 Tg C ano<sup>-1</sup>. Galdos et al. (2009) ressaltam ainda que o sistema de preparo de solo durante o período de plantio precisa ser revisto pois durante o preparo convencional do solo (subsolação, aração e gradeação) parte do carbono estocado no solo pode ser perdido conduzindo a uma rápida oxidação da MOS e perdas por erosão.



**Figura 3 – Estoque de carbono nas profundidades de 0-10, 0-20, 0-50 e 0-100 cm em áreas de cana-de-açúcar com 2, 6 e 8 anos após o plantio, comparado com a mesma massa de solo. (fonte: Galdos et al. (2009)).**

#### **1.1.4 Colheita de cana-de-açúcar crua – Gases efeito Estufa**

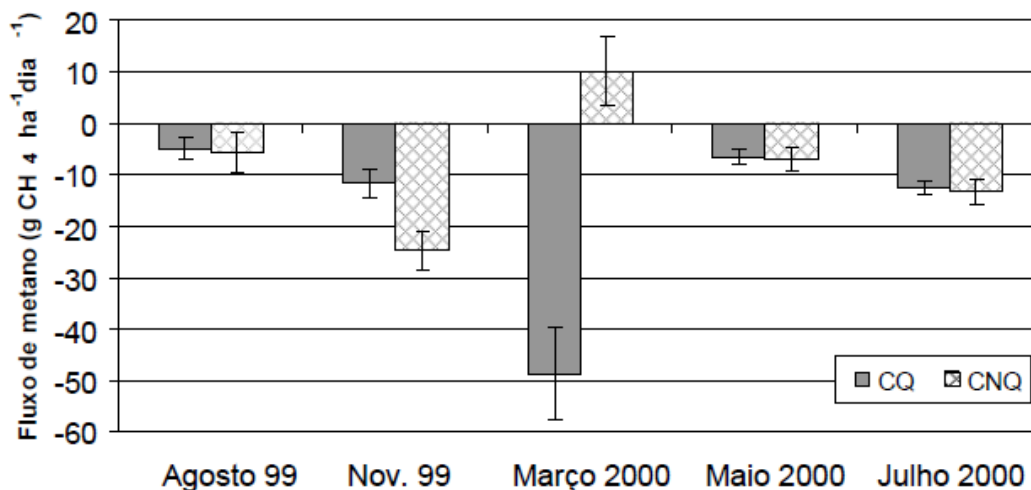
A redução da MOS significa a emissão de gases para atmosfera (principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) e aumento do aquecimento global (CERRI ET AL., 2007). Macedo et al. (2008) baseado em dados do IPCC (2006) mostra que 2,7 kg CH<sub>4</sub> e 0,07 kg N<sub>2</sub>O são liberados para cada Mg de matéria seca queimada. Considerando que a palha da cana de açúcar apresenta rendimento de 11 a 17% da produtividade da área (bs) (PAES; OLIVEIRA, 2005) e que a produtividade média no Brasil é de 81 Mg ha<sup>-1</sup>, a colheita de cana crua representa a redução de emissão de aproximadamente 33 kg de CH<sub>4</sub> e 0,85 kg N<sub>2</sub>O por hectare. Contudo conforme resalta Cerri et al. (2010) estes valores podem variar em função das condições atmosféricas no momento da queima e das condições do canavial. Outros autores propõem métodos diferentes para o cálculo da emissão de GEE, mas independente do método a emissão de metano situa-se na faixa de 35-38 kg de CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>. O mesmo não se aplica para o óxido nitroso que apresenta emissões que variam muito: 0,5 a 3 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, (CERRI ET AL., 2010).

Macedo et al. (2008) mostram ainda que o aumento da área colhida sem queima irá trazer alterações significantes no padrão de emissões de GEE nos próximos anos, embora possa existir um pequeno aumento nas emissões associadas aos resíduos que são retornados ao solo (vinhaça e torta de filtro). No cenário analisado as emissões não decorrentes do uso de combustíveis fósseis serão reduzidas de 19.5 kg CO<sub>2</sub> tc<sup>-1</sup> (em 2005/2006) para 11,6 kg CO<sub>2</sub> tc<sup>-1</sup> em 2020.

**Tabela 2 – Emissões não relacionadas com o uso de combustíveis fósseis (kg CO<sub>2</sub> eq tc<sup>-1</sup>) (MACEDO ET AL., 2008).**

	2002 <sup>a</sup>	2005/2006	Scenario 2020
Methane (trash burning)	6.6	5.4	0.0
N <sub>2</sub> O (trash burning)	2.4	1.8	0.0
N <sub>2</sub> O (N fertilizers, residues)	6.3	8.9	8.6
CO <sub>2</sub> (urea, lime)		3.4	3.0

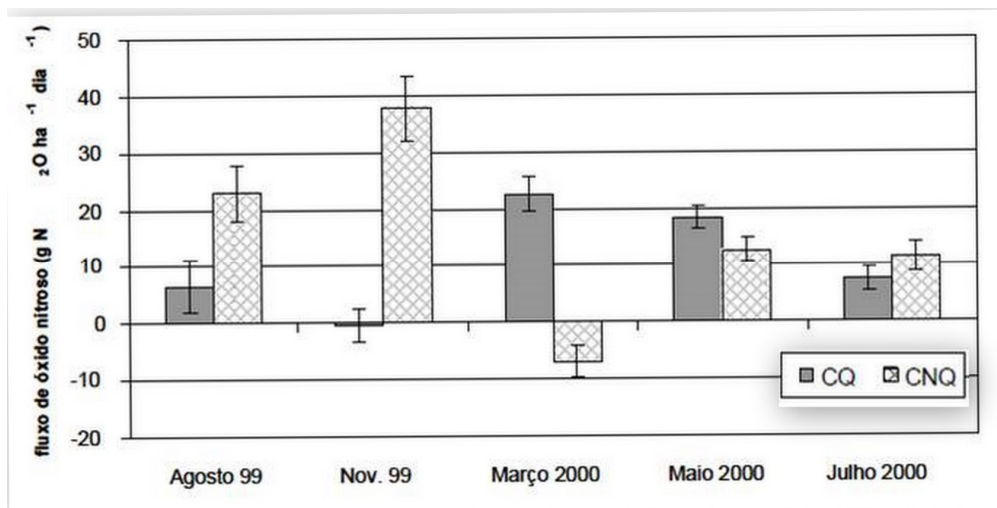
Segundo Cerri et al. (2010) os fluxos de metano podem ser positivos (produzidos pelos solos) ou negativos (consumidos pelos solos) em função da comunidade bacteriana presente que se exprime de acordo com as condições ambientais. Como exemplo os autores apresentam os resultados das medidas efetuadas nos sistemas de cana-de-açúcar com queima (CQ) e sem queima (CNQ) da ao longo do ano agrícola 1999/2000, Figura 4.



**Figura 4 - Fluxo de metano nos sistemas CQ (com queima) e CNQ (sem queima). As barras representam o erro padrão (desvio padrão dividido pelo número de observações) (CERRI ET AL., 2010).**

Observa-se por esta figura que o consumo anual médio de CH<sub>4</sub> na cana queimada é maior que o da cana não queimada. Contudo em observação realizada uma semana após a colheita o sistema de cana crua apresentava uma taxa de oxidação 56% superior ao sistema com cana queimada.

Os mesmos autores avaliaram também o fluxo anual de N<sub>2</sub>O no solo durante os processos microbiológicos de nitrificação e, principalmente, desnitrificação. Para o sistema CQ, os fluxos apresentam valor médio anual de 11, 0 g N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. No sistema CNQ, os fluxos apresentam valor anual médio de 15,7 g N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Durante um ano os sistemas CQ e CNQ emitiram em média 4 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 5,7 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 5).

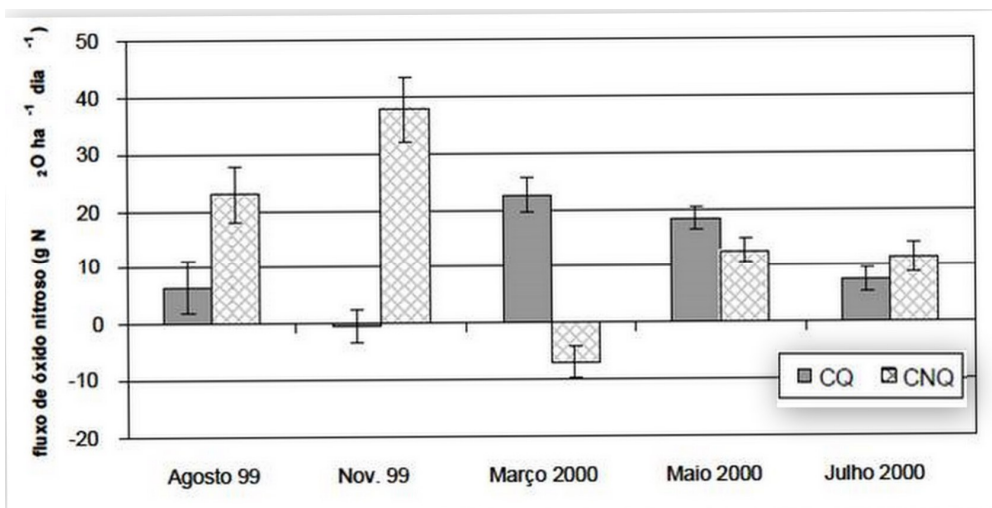


**Figura 5 - Fluxo de óxido nitroso nos sistemas CQ (com queima) e CNQ (sem queima). As barras representam o erro padrão (desvio padrão dividido pelo número de observações), (CERRI ET AL., 2010).**

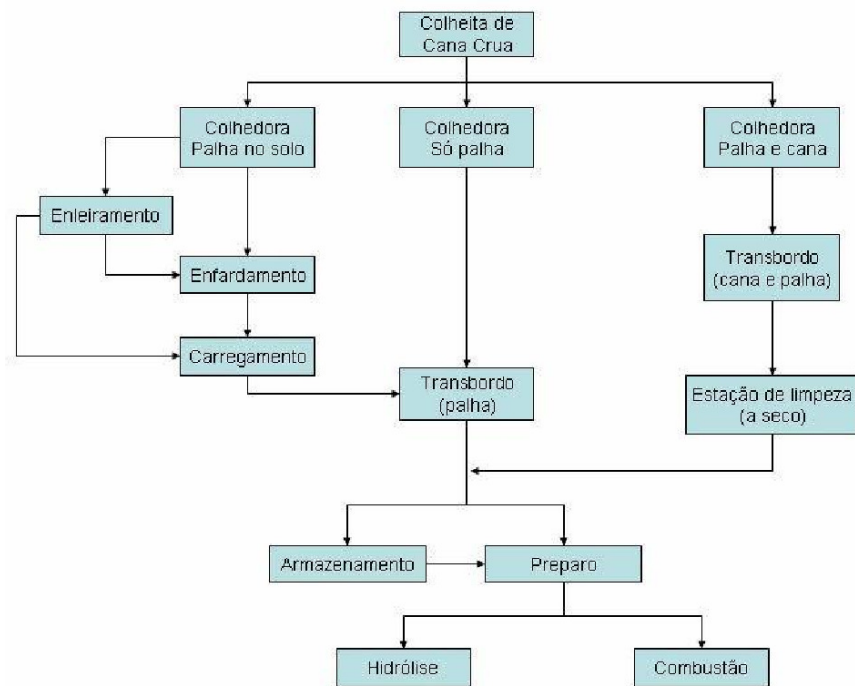
### 1.1.5 Recuperação da palha.

Embora a quantidade de palha que deve permanecer no solo para evitar problemas de erosão, manter a umidade e garantir a recuperação do C do solo ainda não seja conhecida, existe consenso de que a quantidade de resíduo de biomassa produzida colheita de cana crua é excessiva e parte pode ser recuperada para ser utilizada como matéria prima na produção de energia, pela queima direta ou hidrólise para produção de etanol de segunda geração. Considerando a média de 140 kg de matéria seca de palha por tonelada de cana, o Brasil produz hoje aproximadamente 87 milhões de toneladas de resíduos desta biomassa.

A retirada do palhicho do campo e o transporte à indústria, contudo não é trivial. Vários sistemas foram testados. As maiores possibilidades são por enfardamento, a granel, ou pelo sistema de colheita onde a limpeza da cana (separação dos rebolos e da palha) no campo é realizada apenas de forma parcial, utilizando o exaustor primário a velocidade de rotação reduzida e secundário desligado. Além de diferirem no custo de recuperação desta biomassa, cada sistema difere na forma e qualidade que esta matéria-prima é fornecida, além da quantidade de operações necessária e consequentemente demanda de combustível e emissão de CO<sub>2</sub>. A Figura 6 apresenta as possíveis rotas para a recuperação da palha.







**Figura 6 – Possíveis rotas para recuperação da palha de cana-de-açúcar para fins energéticos.**

Estas alternativas estão ilustradas nas Figuras 7, 8 e 9.



**Figura 7 – Sistemas de recuperação de palha de cana (a). Da esquerda para direita, enleiramento, enfardamento e carregamento.**



**Figura 8 – Sistemas de recuperação de palha, carregamento utilizando ceifadora e descarregamento na usina na pilha de bagaço (b).**



**Figura 9 – Sistemas de recuperação de palha (c) – Colheita integral, limpeza a seco.**

A quantidade de resíduo de biomassa proveniente da colheita de milho (corn stover - CS) é aproximadamente da mesma magnitude e apresenta problemas semelhantes aos enfrentados pelos produtores de cana. Como se trata de um produto largamente disponível, razoavelmente concentrado, que não compete com alimentos, ele tem sido utilizado como modelo de matéria prima nas pesquisas e desenvolvimento de processos para produção de biocombustíveis no National Renewable Energy Laboratory (NREL) (Denke et al. (2007) apud Templeton et al. (2009)).

Glassner et al. (1998) relatam que a quantidade de resíduos de biomassa produzida pelos na colheita do milho era de 220 milhões Mg de matéria seca em 1998 (120 milhões Mg considerando a recuperação máxima de 60%) com potencial de produzir entre 23 e 53 bilhões de litros de etanol o equivalente a 10% da demanda de gasolina dos Estados Unidos. Utilizando fardos retangulares e redondos para recuperação do CS os autores apresentam uma avaliação econômica considerando a densidade dos fardos, distância percorrida, custo de carga e descarga, e embalagem com plástico, pois os fardos foram estocados em área aberta. O preço médio posto no destino variou entre US\$ 34,76 Mg<sup>-1</sup> a US\$ 39,30 Mg<sup>-1</sup> (bs).

Graham et al. (2007) relatam onde e quanto desta matéria prima pode ser coletada nos EUA. Os autores estimam produção anual de 196 milhões Mg de CS e considerando os três métodos de recuperação avaliados pelos autores, (Tabela 3) concluem que é possível a recuperação de ~30% deste com custo de coleta abaixo de US\$ 33 Mg<sup>-1</sup>

**Tabela 3 - Cenários avaliados na recuperação de CS. Em todas as operações os fardos foram transportados para o carreador utilizando trator de 120 hp e transportado para usina em caminhões com capacidade de 17 fardos. Adaptado de Graham et al. (2007).**

<b>Quantidade recuperada Mg ha<sup>-1</sup> (base seca)</b>	<b>Método de recuperação</b>
< 2,69	Sistema de espalhamento da colhedora desligado para criar uma leira de palha no solo, recolhedor enfardadora (cilíndrico) acoplada ao trator de 120 hp, proteção com filme plástico, processador.
2,69 a 3,36	Idêntico ao item anterior com exceção que um enleirador foi acoplado na parte frontal do trator.
> 3,36	Dois operações – picadora de forragem (seifadora) e enleiradora seguida por enfardadora (fardos cilíndricos) sem processador acoplada a trator de 85 hp, com filme plástico.

Contudo a recuperação de palha como de CS apresenta vários fatores limitantes relacionados a sustentabilidade. Sokhansanj et al., (2008) investigam o custo, a demanda de energia e emissões durante o processo para recuperação de palha de cereais no Canadá em 5 diferentes cenários. A demanda de energia e emissões foi proporcional ao custo de recuperação da palha em cada sistema. As emissões dos equipamentos utilizados variaram de 20,3 kg CO<sub>2</sub>.t<sup>-1</sup> a 40 kg CO<sub>2</sub>.t<sup>-1</sup> (bs). A análise de sensibilidade do efeito da produtividade no custo de produção mostrou que o aumento de 33% na produtividade representa uma redução de custo de 20%. A Tabela 4 mostra estes resultados. Estes valores estão de acordo com os apresentados por Braunbeck & Albrecht Neto, (2010) citando os trabalhos apresentados pelo projeto desenvolvido no CTC (Tufaile Neto, 2005) e por Michelazzo, (2005) para quantificar o custo de recolhimento da palha de cana-de-açúcar por diferentes métodos, Tabela 5 e Tabela 6.

**Tabela 4 – Custos, demanda de energia, e emissões de dióxido de carbono para cinco opções de recuperação de palha de cereais (número de equipamentos usados durante a operação de colheita está entre parêntese). (SOKHANSANJ ET AL., 2008).**

Collection options	Operation	dt (64 ha) <sup>-1</sup>	\$ dt <sup>-1</sup>	Energy (MJ dt <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg dt <sup>-1</sup> )
Option 1. Square bale and stack using one step load 8 bale and stack and stack	Rake (20)	142.3	3.62	62.3	4.840
	Bale square (21)	141.4	12.42	168.4	13.090
	Road side and stack (15)	141.4	3.03	14.0	1.100
	Tarp (2)	141.4	2.24	13.9	1.082
	Total		21.47	258.7	20.295
Option 2. Round bale load on wagon with 17 bales and stack using a loader	Rake (25)	142.8	3.62	62.4	4.950
	Bale Round (35)	142.0	11.77	175.7	13.750
	Transport to roadside (10)	142.0	2.31	20.3	1.650
	Stack (3)	142.0	0.77	14.5	1.100
	Tarp (2)	142.0	2.74	14.6	1.100
	Total		21.38	290.1	22.550
Option 3. Loaf and stack	Rake (20)	142.3	3.62	62.3	4.767
	Loaf and stack (23)	141.3	13.29	253.8	19.800
	Total		17.08	319.4	24.750
Option 4. Dry chop and pile	Forage harvest dry (20)	141.6	20.24	418.7	32.633
	Transport to roadside (30)	141.6	1.60	27.6	2.145
	Pile (4)	141.5	1.71	15.8	1.228
	Total		23.90	467.1	36.483
Option 5. Wet chop and silage	Forage harvest wet (20)	141.7	23.41	473.3	36.850
	Transport to roadside (30)	141.7	1.60	27.5	2.200
	Ensilage (1)	141.6	32.33	14.2	1.100
	Total		59.75	522.8	40.700

dt – toneladas secas

**Tabela 5 - Custo de recuperação da palha**

Sistema de recuperação	Custo (US\$/t)
Enfardamento	14.87
Picado a granel	13.74
Briquetagem	49.02
Peletização	28.67
Fardo algodoeiro	18.41
Colheita Integral	6.87

Fonte: Michelazzo (2005)

**Tabela 6 - Custo de recuperação da palha (US\$/t).**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Palha posta na usina *	9,61	23,23	2,74
Separação entre a palha e a cana	- -	2,79	3,69
Processamento da palha	0,89	0,85	1,14
Custo total	10,50	26,87	7,57

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

Fonte: (TUFAILE\_NETO, 2005)-

O aproveitamento energético da palha, seja em processos de queima direta ou de produção de outros combustíveis, requer seu armazenamento para viabilizar a produção nos períodos de entre safra.

O armazenamento da palha destinada à queima deve contemplar as condições de adensamento, teor de umidade e teor de impurezas. Já a palha armazenada para hidrólise deve conservar as características da composição química da fibra: lignina, celulose e hemicelulose. Existem algumas alternativas para o armazenamento das forragens que podem ser utilizadas no caso da palha, cada uma com características diferentes em termos demanda de mão de obra e equipamentos para o manuseio, investimentos, topografia de terreno e qualidade do produto final. As opções mais comuns são o empilhamento a céu aberto, o silo-bolsa, o silo trincheira e os galpões infláveis. (Braunbeck & Albrecht\_Neto, 2010), similar aos sistemas utilizado nos EUA para CS, Figura 10.



**Figura 10 – Imagens do sistema de coleta de produção e armazenamento a céu aberto de “corn stover” nos EUA.**

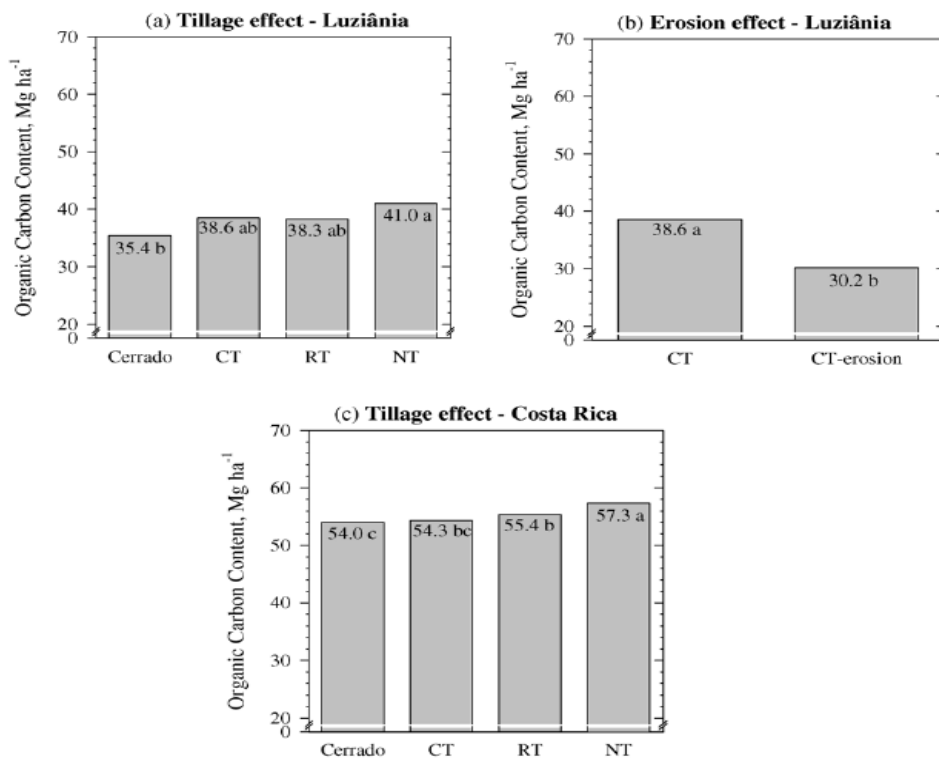
### **1.1.6 Sistemas de Plantio Direto (NT) e Convencional (CT)**

Embora a prática de manutenção da palhada sobre o solo ajude a recuperar o carbono do solo conforme discutido nos tópicos anteriores, o impacto do método de preparo do solo na perda de carbono não está totalmente explicado. La Scala Jr et al. (2006) apresentaram o resultado de um estudo onde avaliaram o efeito de algumas operações de preparo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso após 6 anos de cultivo de cana crua com uma grande quantidade de palha na emissão de CO<sub>2</sub>. As emissões medidas mostraram que o preparo convencional do solo causaram as maiores emissões durante todo o período, exceto para o período imediatamente após o preparo. Os resultados indicaram que o sistema de plantio direto contribui para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, principalmente durante os meses de verão e que uma quantia equivalente a 30% do carbono proveniente dos resíduos da cultura são transferidos para a atmosfera durante o preparo convencional do solo.

Comparado o sistema cultivo tradicional (CT) com sistema de cultivo mínimo (RT) e plantio direto (NT) em dois tipos de solo do Cerrado durante o período de 5 a 8 anos, Bayer et al. (2006) observaram que a taxa anual de sequestro de C variou de 0,3 a 0,6 Mg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em sistema de plantio direto. Valores similares aos observados em solos equivalentes em sistemas NT em regiões temperadas, mas inferiores aos observados no sul do Brasil. Considerando o potencial de expansão da cana nesta região com alta e média aptidão agrícola (EMBRAPA, 2009) a adoção do plantio direto pode contribuir significativamente para o sequestro do carbono e mitigação do efeito estufa. A

Figura 11 a e c apresenta os resultados para as duas áreas em função do tipo de preparo e a

Figura 11b mostra ainda que em solos com sistema CT onde ocorreu erosão o estoque de C é ainda inferior em 8,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Os mesmos autores apresentam ainda a Tabela 7 que mostra a taxa de sequestro de carbono em solos tropicais e subtropicais do Brasil comparando o sistema de CT com o NT.



**Figura 11 – Estoque de carbono orgânico na camada de 0-200 mm como função do: (a) diferentes sistemas de cultivo do solo e (b) erosão na região do cerrado em Latossolo argilo-arenoso; e (c) latossolo argiloso. Médias seguidas da mesma letra significa que não diferem estatisticamente ao nível de 5%. (BAYER ET AL., 2006).**



**Tabela 7 – Sequestro de C em solos tropicais e subtropicais do Brasil em sistema de plantio direto NT e cultivo convencional CT. Fonte: (BAYER ET AL., 2006)**

Carbon sequestration rates in Brazilian tropical and subtropical no-till soils									
Site	Soil	Climate <sup>a</sup>	Cropping system <sup>b</sup>	Depth (cm)	C stock (Mg ha <sup>-1</sup> )		Time (year)	Rate (Mg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Reference
					CT	NT			
<b>Tropical</b>									
Embrapa CPAC	Oxisol	–	Win: F	0–20	37.34	47.35	16	0.63	Corazza et al. (1999)
Planaltina DF	41% clay	–	Sum: R, S, P, F and M	0–20	37.00	47.50	20	0.52, 0.58 <sup>c</sup>	Oliveira et al. (2004)
Agropec. SLC	Oxisol	23.8	Win: F	0–20	38.60	41.00	8	0.30	Bayer et al. (this study)
Luziânia GO	35% clay	1581	Sum: S and M	0–20	48.60	49.60	4	0.25	Freitas et al. (2000)
Emater-GO	Oxisol	23.0	Win: F	0–20	48.60	49.60	4	0.25	Freitas et al. (2000)
Sen. Canedo GO	50% clay	1500	Sum: M and B	0–20	48.60	49.60	4	0.25	Freitas et al. (2000)
Agropec. SLC	Oxisol	24.8	Win: F	0–20	54.30	57.30	5	0.60	Bayer et al. (this study)
Costa Rica MS	65% clay	1929	Sum: S and M	0–20	54.30	57.30	5	0.60	Bayer et al. (this study)
Embrapa CNPMS	Oxisol	22.1	Win: F	0–20	50.33 <sup>d</sup>	50.00 <sup>d</sup>	10	–0.03	Roscoe and Buurman (2003)
Sete Lagoas MG	80% clay	1340	Sum: M and B	0–20	50.33 <sup>d</sup>	50.00 <sup>d</sup>	10	–0.03	Roscoe and Buurman (2003)
UFV	Acrisol	19.5	Winter: F	0–20	31.23	38.54	15	0.49	Leite et al. (2004)
Coimbra MG	40% clay	1350	Sum: M/F/S	0–20	31.23	38.54	15	0.49	Leite et al. (2004)
IAC	Oxisol	23.0	O/S; O/M–O/S;	0–20	78.00 <sup>e,f</sup>	80.80 <sup>e,f</sup>	12	0.23	DeMaria et al. (1999)
Campinas SP	60% clay	1060	O/S–O/M; O/M (win/sum)	0–20	78.00 <sup>e,f</sup>	80.80 <sup>e,f</sup>	12	0.23	DeMaria et al. (1999)
<b>Subtropical</b>									
IAPAR	Oxisol	–	S/W/S (sum/win/sum)	0–20	27.40 <sup>e</sup>	31.87 <sup>e</sup>	14	0.48	Castro-Filho et al. (1998)
Londrina PR	clayey	–	M/W/M S/W/M	0–20	29.00 <sup>e</sup>	32.30 <sup>f</sup>	0.24		
				0–20	27.18 <sup>e</sup>	33.15 <sup>e</sup>	0.43, 0.33 <sup>c</sup>		
Ponta Grossa PR	Oxisol	18.7	Win: O, W, Lu and Ry	0–20	n.s. <sup>g</sup>	n.s. <sup>g</sup>	22	0.81	Sá et al. (2001)
Embrapa Trigo	Oxisol	19.4	W/S (win/sum)	0–20	48.80	48.00	13	–0.06	Freixo et al. (2002)
				0–20	44.80	46.70	0.15		
Passo Fundo RS	60% clay	1746	W/S–V/M	0–20	48.34	50.36	13	0.16	Sisti et al. (2004)
				0–20	45.42	52.16	0.52, 0.19 <sup>c</sup>		
				0–20	45.42	52.16	0.52, 0.19 <sup>c</sup>		
UFRGS	Ultisol	19.4	O/M (win/sum)	0–20	30.20	33.53	9	0.37	Bayer et al. (2000)
Eldor. do Sul RS	22% clay	1440	O + V/M + Cw	0–20	34.35	41.68	0.81	Lovato et al. (2004)	
				0–20	29.69	36.45	0.52		
				0–20	34.13	41.58	0.57, 0.57 <sup>c</sup>		
<b>Temperate (USA)</b>				–			Range	0.24–0.40	Lal et al. (1999)
				0–30			Mean	0.34	West and Marland (2002)

<sup>a</sup> The values refer to the mean annual temperature (°C) and mean annual precipitation (mm), respectively.

<sup>b</sup> win (winter), sum (summer), B (beans, *Phaseolus vulgaris*), C (crotalaria, *Crotalaria* spp.), Cw (cowpea, *Vigna unguiculata*), F (fallow), Lu (lupin, *Lupinus* sp.), M (maize, *Zea mays*), Mt (millet, *Penisetum* spp.), O (oat, *Avena strigosa*), P (pigeon pea, *Cajanus cajan*), R (rice, *Oryza sativa*), Ry (ryegrass, *Lolium multiflorum*), S (soybean, *Glycine max*), V (vetch, *Vicia sativa*), W (wheat, *Triticum aestivum*).

<sup>c</sup> Refers to the mean C sequestration rate of the site.

<sup>d</sup> To find the C stocks up to 20 cm depth, an interpolation of the studied 15–30 cm layer was used.

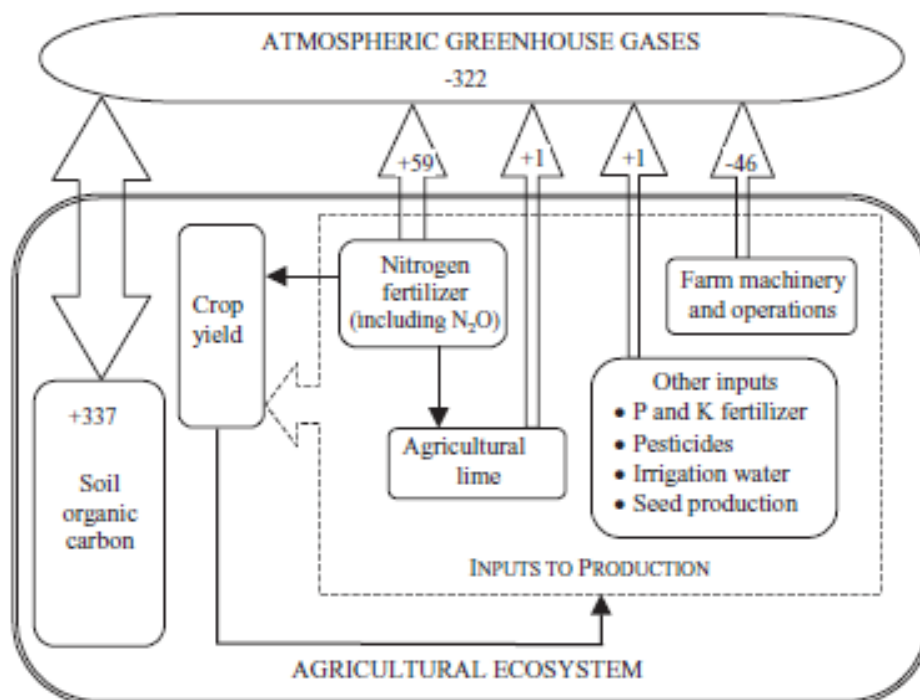
<sup>e</sup> Original data were presented as g C kg<sup>-1</sup> soil. To convert in Mg C ha<sup>-1</sup>, a soil bulk density of 1.00 Mg m<sup>-3</sup> was considered.

<sup>f</sup> The C stocks in CT and NT treatments correspond to the average value of all four cropping systems.

<sup>g</sup> C stocks (per volume) are not shown.

Marland et al. (2003) para conhecer os efeitos na emissão de GEE para a atmosfera devido a mudança do sistema de preparo de solo de convencional para plantio direto, nos EUA, consideraram as modificações no padrão de emissão de CO<sub>2</sub> resultante do consumo de combustível, emissões de outros gases e efeito na produtividade. Os autores concluem que a adoção do plantio direto resultou em um sequestro de carbono na ordem de 337 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os primeiros 20 anos e um declínio para perto de zero nos 20 anos seguintes, mas que o NT continua a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> devido a redução do uso de combustível. Os resultados a longo-prazo, considerando todos os fatores, mostram um declínio na emissão de GEE quando o sistema de plantio direto é adotado, mas a quantificação destes benefícios depende de outros fatores como a produtividade local e a quantidade de adubação nitrogenada e a emissão de N<sub>2</sub>O. A Figura 12 mostra o balanço das emissões de GEE para atmosfera como consequência da alteração do sistema de cultivo de convencional para plantio direto.

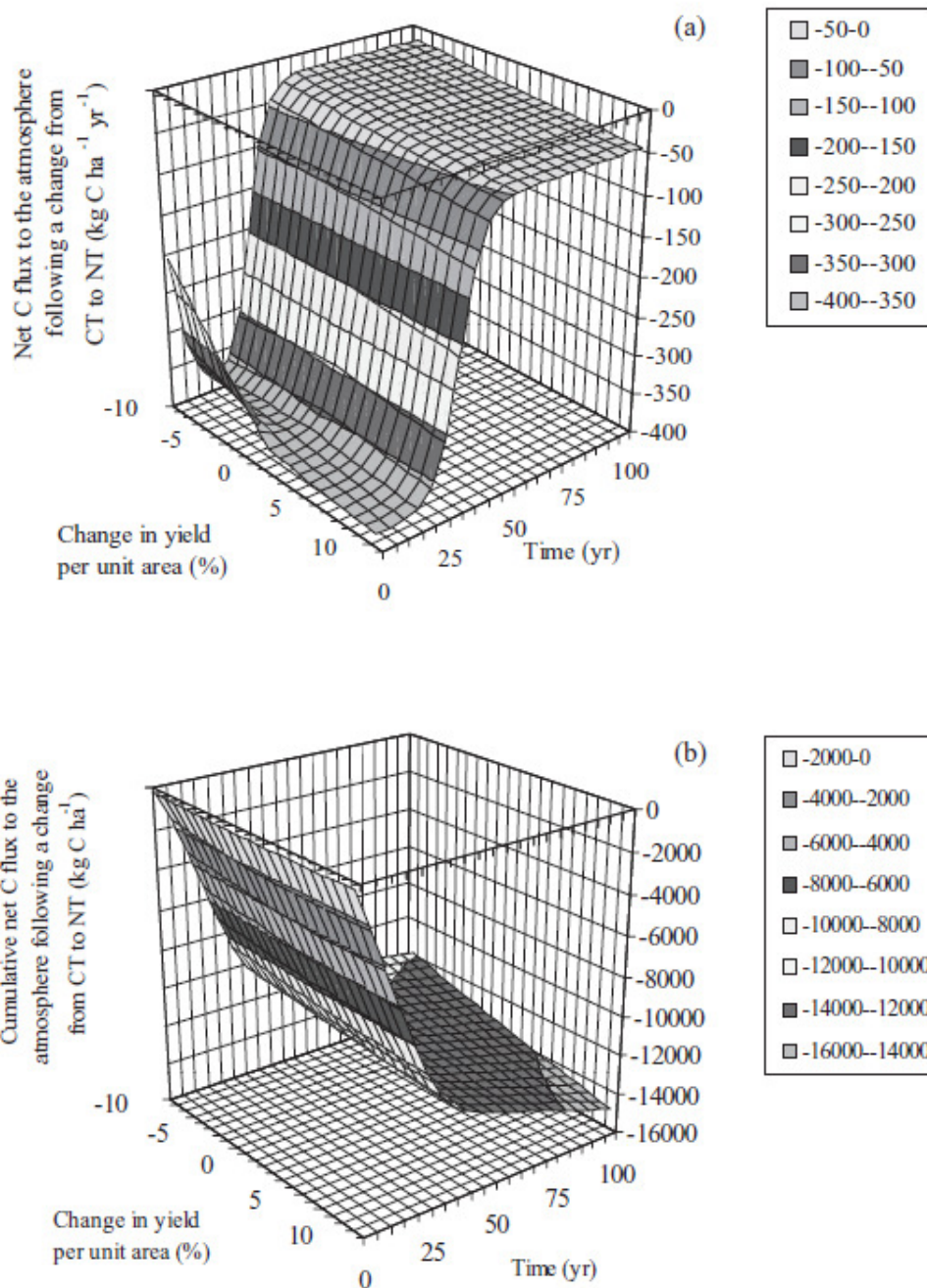




**Figura 12 – Alteração média na emissão de GEE nos anos imediatamente subsequentes a adoção do SPD. Fonte (MARLAND et al., 2003).**

A Figura 13, dos mesmos autores, mostra o resultado do fluxo de carbono anual (a) e acumulado (b) com o sequestro de carbono do solo e a redução do consumo de combustível que ocorrem como consequência da alteração do sistema de cultivo de convencional (CT) para o plantio direto (NT). Os autores assumiram neste modelo que a produção total não foi alterada, mas a área de produção ajustadas para compensar o aumento de produtividade por unidade de área.

De maneira geral os resultados de pesquisas realizadas em climas temperados, secos ou úmidos apontam que a adoção da prática do plantio direto contribui para a redução do aquecimento global através da retirada do CO<sub>2</sub> da atmosfera e subsequente estoque de C no solo. Contudo Six et al. (2004) ressaltam que esta análise baseada apenas no fluxo de C fica prejudicada se o fluxo dos três gases biogênicos mais importantes não forem analisados (i.e. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>), que são essenciais para entender o impacto da agricultura no potencial do aquecimento global. Os autores ressaltam que apesar disto são poucos os trabalhos científicos que avaliam os impactos do sistema de cultivo de solo nestes GEE. A Tabela 8 mostra o resultado da diferença do fluxo anual de GEE e potencial de aquecimento global do sistema de plantio direto (no-till) para o preparo de solo convencional (conventional till) de em 5, 10 e 20 anos seguidos da adoção do NT.



**Figura 13 – Fluxo de carbono como consequência da alteração do sistema de cultivo convencional (CT) para plantio direto (NT) anual (a) e acumulado (b). Fonte (MARLAND ET AL., 2003).**

Em climas úmidos o sequestro de C aumenta logo após a adoção do NT, mas em climas secos este balanço é negativo (emissões de C) no início tornando-se favorável somente após 20 anos. Para o fluxo de  $\text{N}_2\text{O}$  tanto em climas úmidos como secos a diferença de fluxo se altera no decorrer do tempo. Nos primeiros 10 anos o fluxo de  $\text{N}_2\text{O}$  é maior em sistema de NT que no CT, após 20 anos o fluxo de  $\text{N}_2\text{O}$  é menor no clima úmido para o sistema NT e não apresenta diferença em climas secos. Este processo é explicado pela melhor estruturação do solo e absorção de água pelos espaços poros que estimulam a desnitrificação, e consequente perda de N e mineral deficiência para a planta. Poucos estudos apresentam resultados de diferença de fluxo de  $\text{CH}_4$  entre os sistemas de NT e CT, a maioria mostra uma pequena vantagem de absorção do  $\text{CH}_4$  com a adoção do sistema de NT.

**Tabela 8 - Diferenças anuais do fluxo de GEE e potencial de aquecimento global (GWP) entre plantio direto (NT) e sistema convencional de preparo do solo (CT).**

No-till – conventional till												
Year 5				Year 10				Year 20				
(kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )		GWP		(kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )		GWP		(kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )		GWP		
Estimate	SE <sup>†</sup>	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	Estimate	SE	
Soil organic C												
Humid	194	4	-710	16	213	2	-780	7	222	1	-815	4
Dry	-306	6	1123	21	-37	3	137	10	97	2	-356	6
N <sub>2</sub> O												
Humid	3.8	0.8	1114	237	1.1	0.8	330	222	-4.2	1.9	-1238	565
Dry	1.3	1.5	398	431	0.9	1.2	268	367	0.0	1.6	8	466
CH <sub>4</sub>												
Humid	-0.6	0.1	-13	3.1	-0.6	0.1	-13	3.1	-0.6	0.1	-13	3.1
Dry	-0.6	0.1	-13	3.1	-0.6	0.1	-13	3.1	-0.6	0.1	-13	3.1
Soil-derived GWP												
Humid			391	238			-463	222			-2066	565
Dry			1508	432			392	367			-361	466

SE = erro padrão; unidades de GWP são CO<sub>2</sub> equivalente (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Os valores nas colunas de estimativas para 5, 10 e 20 anos são após a conversão de preparo convencional para plantio direto. Valores negativos na coluna GWP indicam a redução no potencial de aquecimento global ou mitigação do aquecimento global. Fonte: (SIX ET AL., 2004).

Como o potencial do N<sub>2</sub>O é maior no GEE, maiores fluxos de NO<sub>2</sub> no sistema NT se contrapõe aos ganhos de sequestro de C e absorção de CH<sub>4</sub> conduzindo ao maior potencial de aquecimento global, pelo menos nos anos iniciais. Após longos períodos de adoção do sistema NT o balanço final é favorável a esta técnica como pode ser observado na Tabela 9 que apresenta os resultados estimados da emissão de CGE acumulados após o período de 20 anos de adoção do sistema de plantio direto (NT). Observa-se que em relação a emissão de GEE a adoção do sistema NT é mais benéfica para regiões de clima úmido que seco.

O fluxo de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> no sistema de cultivo convencional e de plantio direto em clima subtropical úmido e de solos típicos do norte da Europa foi estudado por REGINA e ALAKUKKU (2010). Os resultados comprovam os resultados de Six et al. (2004) que a emissão de N<sub>2</sub>O nos primeiros anos tende a aumentar no sistema de NT. Já o balanço de CO<sub>2</sub> não apresentou diferença entre os sistemas de NT e CT. O Fluxo de CH<sub>4</sub> foi insignificante e não foi afetado pela alteração do sistema CT para o NT.

**Tabela 9 – Resultado da emissão de GEE após 20 anos de adoção do sistema de plantio direto.**

	No-till – conventional till			
	(kg ha <sup>-1</sup> )		GWP	
	Estimate	SE	Estimate	SE
<b>Humid climate</b>				
Soil Organic C	4440	38	-16296	88
N <sub>2</sub> O	17	13	5027	3706
CH <sub>4</sub>	-11	2	-258	46
Soil-derived GWP			-11526	3707
Ancillary GHG changes	-31		-2273	
Total GWP			-13799	
<b>Dry climate</b>				
Soil organic C	1942	54	-7128	115
N <sub>2</sub> O	17	20	5105	5814
CH <sub>4</sub>	-11	2	-258	46
Soil-derived GWP			-2281	5815
Ancillary GHG changes	-31		-2273	
Total GWP			-4554	

Outra vantagem para o plantio direto é econômica. O custo operacional deste sistema de plantio em cana pode ser cerca de 60% menor que o sistema de plantio convencional mecanizado, Tabela 10 (MARCO ANTONIO LOPES GARCIA, 2008).

**Tabela 10 – Custo comparativo das operações de PD e CC**

Operação	Convencional	Plantio Direto
		Cana planta R\$ ha <sup>-1</sup>
Subsolagem	88,3	--
Aração	79,6	--
Nivelamento	34,0	--
Plantio (mecanizado)	121,00	121,00
Total	322,90	121,00

### 1.1.7 Controle de tráfego

Testes de campo conduzidos na Austrália por um período de 5 anos em dois tipos de solos distintos, sem irrigação com 4 variedades de cana mostraram que se for realizado um rigoroso controle de tráfego na área de cultivo, mantendo-se a linha da soqueira sem tráfego os benefícios para a produtividade da cultura são significativos. (BRAUNACK et al., 2006). Os autores mostram que os efeitos do tráfego são cumulativos e afetam as propriedades do solo com o aumento da densidade, compactação do solo, resistência a penetração e reduz a condutividade hidráulica. Mesmo o tráfego de veículos leves pode induzir a redução de produtividade se forem feitos sobre as linhas de cultivo.

Outro benefício do sistema de manejo com controle de tráfego é a redução da erosão e escoamento superficial de água como consequência da redução da compactação. Li et al. (2007) avaliaram os efeitos do manejo de solo e do controle de tráfego pelo período de 6 anos em solos argilosos pesados (vertissolos) na Austrália. Neste experimento observaram que na região onde houve o controle de

tráfego o escoamento superficial foi 36% menor. Em locais onde foi aplicado o plantio direto com o controle de tráfego e o efeito destas duas práticas foi cumulativo com a redução de 47% do escoamento superficial com infiltração de água 12% superior.

Outras vantagens da adoção do sistema de controle de tráfego.

- Redução do uso de combustível em operações de subsolagem
- Redução do consumo de combustível durante as operações agrícolas
- Melhor aproveitamento de fertilizantes
- Maior produtividade ( $t\ ha^{-1}$ )

### 1.1.8 Agricultura de precisão

O tratamento de áreas por zonas homogêneas de manejo (ZHM) consiste no conceito de aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, nas quantidades necessárias à produção agrícola, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam. A AP fornece ferramentas para administrar esse gerenciamento, ao invés de se aplicar fertilizantes, herbicidas ou fungicidas indiscriminadamente a taxas uniforme em grandes áreas, AP permite o uso racional destes agroquímicos que apresentam alto potencial poluidor. Contudo, Bongiovanni e Lowenberg-Deboer (2004) comentam que desafio consiste em mostrar que a AP pode ter um impacto positivo sobre o meio ambiente contribuindo para a redução da emissão de GEE, especialmente metano ( $CH_4$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ). Infelizmente poucos estudos tratam este objetivo diretamente, a maioria chega a esta conclusão como um subproduto. A Tabela 11 apresentada por Schepers (JERRY L. HATFIELD, 2000) mostra o potencial dos riscos ambientais por diferentes processos.

**Tabela 11 – Risco ambiental de nutrientes e matéria orgânica. Fonte: (JERRY L. HATFIELD, 2000)**

<b>Processo</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>SOM</b>
Lixiviação	+	-	-	-	-
Desnitrificação	+	-	-	-	-
Eutrofização	+	+	-	-	-
Precipitação	+	+	+	-	-
Escoamento superficial	+	+	-	-	-
Volatilização	+	-	-	-	-
Saltação	-	-	+	-	-

Dentre os nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o mais caro, o que consome mais energia para sua produção industrial e, potencialmente, o mais poluente, sendo geralmente o mais limitante à produção vegetal. O processo industrial que transforma o  $N_2$  atmosférico em  $NH_3$  demanda por volta de seis barris de petróleo por tonelada de N fixado (REIS\_JUNIOR; MENDES, 2008). Vários autores citados por Bongiovanni e Lowenberg-Deboer (2004) mostram que aplicação a taxa variada de N pode reduzir a quantidade total utilizada de fertilizantes, garantem seu uso mais eficiente, com menores perdas por lixiviação e redução da poluição causada por  $NO_3-N$  nos efluentes, mantendo a produtividade. Os autores também apresentam resultados mostrando que aplicações a taxa

variada contribuíram para redução entre 50 a 70% do uso de herbicidas reduzindo os impactos ambientais, principalmente na qualidade da água, além de apresentar potencial para a redução do movimento do P do solo para os mananciais. A maioria dos trabalhos científicos mostra que a AP tem grande potencial para contribuir de muitas formas com a sustentabilidade do sistema produtivo.

Em análise dos impactos da AP no setor sucroalcooleiro, Silva et al. (2010) mostram que parte significativa das usinas paulistas que adotaram a AP concluíram que esta permitiu mudanças significativas no gerenciamento da frota, aumentou a produtividade, reduziu os impactos ao meio ambiente e melhorou a qualidade da cana entregue na fábrica. Em recente análise dos benefícios da adoção da AP pelo setor sucroalcooleiro Bramley (2009) sugere que a AP tem muito a contribuir para melhorar a sustentabilidade da indústria açucareira da Austrália.

Outro potencial da AP é a aplicação desta tecnologia no gerenciamento de frotas durante o processo de colheita. Auernhammer (2001) menciona que o gerenciamento de frotas é uma ferramenta prática que resulta em redução de tráfego, diminuição do número de viagens, e apresenta melhor coordenação dos veículos de transporte. No gerenciamento de frotas estão envolvidos os processos de supervisionar o uso e manutenção de veículos e as funções administrativas associadas inclusive a coordenação e disseminação de tarefas e informações relacionadas para resolver o problema da programação heterogênea de rota de veículos (SØRENSEN and BOCHTIS, 2010).

Diferente de outras culturas, a safra de cana envolve a remoção de uma grande quantidade de biomassa do campo cujo sucesso depende de um bom programa de logística. Uma usina típica normalmente processa cerca de 10 mil toneladas de cana/dia durante a safra de aproximadamente 200 dias. Isto significa a administração diária de mais de 200 caminhões, 20 colhedoras e 34 tratores com 2 transbordos, tudo normalmente dividido em 5 diferentes frentes que ficam situadas a uma distância que varia de 1 até 60 quilômetros da usina. Considerando que a usina trabalha com turno direto não deveria deixar de moer cana 24 horas por dia; e que não é possível estocar cana-de-açúcar colhida; e o sistema deve garantir matéria-prima independente das condições de clima; a logística do Corte Carregamento e Transporte CCT, é uma tarefa árdua. Cerri e Magalhães (2010) apresentam um sistema desenvolvido para monitorar e gerenciar o CCT baseado na tecnologia de sistema de informação geográfica (SIG). O sistema integra o banco de dados da usina com as informações de campo em tempo real de forma a garantir um ótimo gerenciamento da frota, melhor eficiência de campo e redução dos custos operacionais, Figura 14. Entre os benefícios para redução dos GEE está a redução do consumo de combustível, redução do tempo de espera para descarga no pátio da usina, aumento na capacidade operacional das colhedoras e sistema de transbordo.

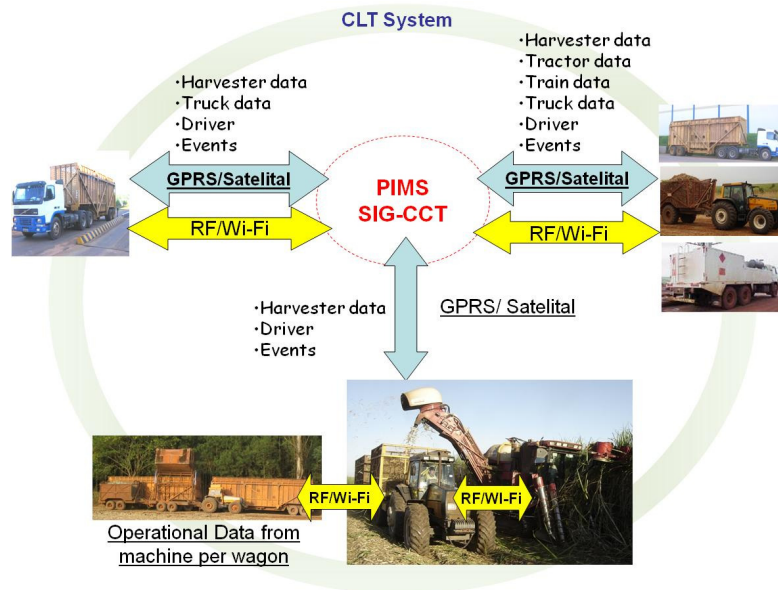


Figura 14 – Sistema integrado de controle de frota para o CCT de cana-de-açúcar.

### 1.1.9 Uso de biocombustíveis (etanol e biodiesel) na lavoura e no transporte de cana

Durante a segunda metade dos anos setenta, quando ocorreu a primeira fase do Proálcool e foi observada uma grande expansão na produção de agroindústria sucroalcooleira, foi estudada a adoção de etanol como substituto de diesel, largamente utilizado nas atividades agrícolas e de transporte de cana para as usinas. Nesse sentido, duas tecnologias foram mais estudadas: a aditivação do etanol visando sua utilização puro ou em misturas com diesel em motores do ciclo Diesel (essencialmente mediante aditivos para incremento do número de cetano e da lubrificidade) e a denominada "ottolização" dos motores diesel, que corresponde à adaptação de motores diesel, reduzindo a taxa de compressão e incorporando sistemas de ignição por centelha para uso com etanol hidratado (SOPRAL, 1985). Especialmente por conta da reduzida vantagem energética, já que o etanol em motores Diesel não permite obter uma eficiência mais elevada como acontece nos motores Otto, e por conta dos preços mais competitivos do combustível derivado de petróleo frente ao etanol, essas tecnologias pouco avançaram e foram praticamente abandonadas no começo dos anos oitenta.

Passadas mais de duas décadas, nos últimos anos se observou uma retomada do interesse do uso de etanol em motores pesados, considerando especialmente o uso de motores Diesel especialmente desenhados, com elevada taxa de compressão, ou motores Otto superalimentados e alto desempenho. A fabricante sueca, Scania, tem alcançado significativos avanços em seus motores Diesel e em 2007 lançou uma terceira geração de motores comerciais a etanol hidratado aditivado com 9 litros de deslocamento, 270 CV de potência e uma elevada taxa de compressão (28:1), atendendo às novas normas europeias de emissões veiculares (Euro 5) (Scania, 2007). Esses motores têm sido adotados em 138 ônibus de um programa experimental, o Projeto BioEthanol for Sustainable Transport, que promove o uso do etanol para transporte coletivo em diversas cidades de todo o mundo (Brandenburgo, Estocolmo, La Spezia, Madri, Nanyang, São Paulo, Somerset e Rotterdam). Além desses motores, na China também tem sido empregados motores flex com duplo tanque, em que a partida é efetuada com gasolina e após o aquecimento dos motores, é utilizado apenas etanol hidratado. Particularmente na

Suécia o transporte público com biocombustível é amplamente adotado. Desde 1989 são utilizados ônibus a etanol hidratado em Estocolmo, cuja frota atual é de 400 veículos, com uma meta de que este biocombustível atenda 50% da frota em 2011 e a partir de 2025 seja adotado por toda os veículos (BEST, 2010). Sabe-se ainda que a MWM desenvolve no Brasil, junto com a Massey Fergusson e a Delphi, o projeto de um motor a etanol para substituir o diesel, para a aplicação em caminhões, veículos comerciais e máquinas agrícolas.

É compreensível o interesse do próprio setor sucroalcooleiro em desenvolver essa aplicação para o biocombustível que produz. Em 2008 se estimava que existissem cerca de cem mil motores Diesel em operação nos caminhões e no maquinário agrícola das usinas brasileiras, e que, mediante o uso de etanol, poderiam reduzir pela metade as despesas com combustível (Idea, 2008). Nesse sentido, o emprego de etanol aditivado (com melhoradores de cetano), em motores com injeção eletrônica e elevada taxa de compressão parece ser a tendência predominante, podendo se considerar bastante factível que, em médio prazo, o etanol esteja sendo usado regularmente como combustível veicular nas atividades da agroindústria canavieira. Vale ainda observar que a tributação relativamente elevada sobre os combustíveis convencionais (cerca de 24% do preço do diesel ao consumidor se referem ao ICMS, PIS/PASEP e COFINS, 17% correspondem às margens da distribuição e revenda) atuam a favor dessa alternativa, já que as usinas poderão consumir seu próprio produto.

Em complemento ao uso de etanol deve ser considerado o biodiesel, que desde janeiro de 2010 corresponde a 5% do diesel vendido para fins veiculares no Brasil. Esse combustível foi introduzido no mercado brasileiro a partir de 2003 e desde então sua capacidade de produção se expandiu de forma notável, baseando-se essencialmente no óleo de soja e no sebo bovino como matérias-primas, transesterificados mediante em processo metílico com catálise alcalina, com perspectivas de que paulatinamente outras matérias primas, como a palma, passem ser predominantes, bem como passe a ser empregado o processo etílico baseado em etanol de cana de açúcar.

#### **1.1.9.1 Estimativa do consumo de diesel na agroindústria canavieira**

Com o propósito de estimar o impacto do emprego dos biocombustíveis sobre o consumo de energia fóssil e nas emissões de GEE da agroindústria do etanol, nos próximos parágrafos se apresenta uma estimativa do consumo de diesel nas atividades agrícolas e de transporte na produção de cana e se estabelecem cenários de introdução de biodiesel e etanol. Foram avaliados, comparativamente a uso de diesel mineral, o uso do biodiesel em três cenários e o uso de etanol hidratado.

Para a estimativa do consumo de diesel na agroindústria canavieira foram adotados os valores apresentados por Seabra (2008), referentes à safra 2005/2006, conforme resultados do programa de Controle Mútuo Agroindustrial desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Canavieira, CTC, que efetua o acompanhamento de 40 usinas dessa região, responsável por uma fração expressiva da produção nacional. De acordo com esse levantamento, o consumo de diesel nessas atividades variou entre 68 a 285 litros por hectare (L/ha), apresentando uma dispersão que confirma a sensibilidade desse consumo às práticas agrícolas e formas de transporte adotadas, bem como a eventual inclusão no consumo de atividades não relacionadas com a produção de etanol.



Adotando o procedimento de Seabra (2008), que conservadoramente considerou apenas os casos com consumos acima de 160 L/ha, ponderados pela moagem dessas usinas e adicionando um consumo de 15 L/ha para o transporte e distribuição de vinhaça e torta de filtro, foi obtido um consumo médio de 230 L/ha. Em um estudo anterior, desenvolvido a partir da caracterização das operações e a determinação dos respectivos consumos específicos nas atividades agrícolas e de transporte, foi estimado um consumo de 164 L/ha (Macedo et alli., 2004), tendo sido atribuída a diferença entre essas duas estimativas a outras atividades e serviços executados no âmbito da produção de cana de açúcar (Seabra, 2008).

A Tabela 12 apresenta valores médios dos principais componentes desse consumo, referidos à área cultivada, que para o cálculo do consumo total devem ser ponderados em função do ciclo produtivo e da adoção parcial da colheita mecanizada. Para essa estimativa, para a safra 2005/2006, além dos valores médios de produtividade, 87,1 t cana colhida/ha e 86,3 litros de etanol por tonelada de cana processada, adotou-se, como condições representativas, ciclos produtivos com 5 cortes, com colheita mecanizada em 50% da área colhida, conforme Seabra (2008). Adiante esses parâmetros serão utilizados nos cenários considerados para a introdução de biocombustíveis.

Nessas condições se estimou que, no consumo total de diesel, 31% correspondem às operações agrícolas, 40% à colheita, carregamento e transporte e 29% às outras atividades, relacionadas com a produção de etanol e não identificadas. Uma informação complementar interessante pode ser obtida do estudo de Capaz (2009), que estimou a partir de dados do CTC e do trabalho de Seabra (2008), que o transporte de vinhaça e torta de filtro corresponde a 34,6 L/ha, portanto dentro da expectativa de que este e outros consumos somem 67,0 L/ha.

**Tabela 12 - Consumo de diesel na agroindústria canavieira, safra 2005/2006 (Seabra, 2008)**

Atividade	Unidade	Consumo de diesel
Operações agrícolas		
cana planta	L/ha	102,6
cana soca	L/ha	9,1
Colheita, carregamento e transporte <sup>1</sup>		
colhedora	L/ha	91,4
carregadora	L/ha	14,2
reboque e transbordo	L/ha	32,7
Outras atividades	L/ha	67,0

<sup>1</sup>Considerando 87,1 t cana colhida/ha.

### **1.1.9.2 Cenários considerados para o uso dos biocombustíveis**

Para a introdução de biocombustíveis nas atividades agrícolas e de transporte, sem alterações no parque de máquinas agrícolas e na frota de caminhões, foram avaliados quatro diferentes cenários, considerando o emprego de biodiesel e etanol

hidratado, nas seguintes condições, a serem comparados com o cenário de referência, correspondente ao diesel mineral puro:

Cenário 1: B5 (5% de biodiesel no diesel mineral), considerando o atual mix de matérias prima na produção de biodiesel (85% a partir de óleo de soja e 15% a partir de sebo bovino, rota metílica).

Cenário 2: B5, considerando um mix melhorado de produção de biodiesel (85% a partir de óleo de palma e 15% a partir de sebo bovino, rota metílica).

Cenário 3: B100, considerando um mix otimizado de produção de biodiesel (85% a partir de óleo de palma e 15% a partir de sebo bovino, rota etílica).

Cenário 4: E100, etanol hidratado aditivado, em motores diesel de alto desempenho (injeção eletrônica e alta taxa de compressão)

Do ponto de vista da adequação dos motores para utilizar esses biocombustíveis, os dois primeiros cenários correspondem ao contexto existente no mercado brasileiro desde janeiro de 2010, portanto não requerem qualquer alteração nos motores, já que a especificação do biodiesel foi estabelecida de forma a assegurar que parâmetros como viscosidade, lubricidade, estabilidade, etc. da mistura biodiesel/diesel (em baixos teores) sejam os mesmos encontrados no diesel mineral. Nessas condições, a maioria dos fabricantes de motores Diesel mantém a garantia de seus produtos para operação com B5 e em alguns casos para teores até B20. Para os outros dois cenários, nos quais se assume que os tratores, colhedoras e caminhões das usinas utilizem biodiesel puro ou etanol aditivado, são necessárias modificações nos motores. No Cenário 3 essas modificações podem ser relativamente simples, essencialmente associadas aos materiais empregados nos motores, e têm sido implementadas por alguns fabricantes como Deutz, da Alemanha, que oferece motores de 10 a 500 kW para veículos rodoviários e fora de estrada, a biodiesel puro, um produto comercializado em alguns postos revendedores desse país. Para o Cenário 4, a tecnologia a ser empregada ainda está em desenvolvimento, mas atualmente já são comercializados pela Scania alguns motores Diesel capazes de queimar etanol hidratado, como observado anteriormente.

Além das possibilidades caracterizadas nesses cenários, também tem sido exploradas as alternativas de uso combinado de etanol e diesel, seja através de misturas com co-solventes, seja empregando motores especiais, com dupla injeção, em que o diesel atua como ignitor da mistura etanol/ar. Não obstante estas tecnologias estarem em estudo, os cenários propostos consideram as situações limites no emprego dos biocombustíveis, partindo do quadro atual, explorando o efeito de alterações no sistema de produção de biodiesel e considerando o emprego exclusivo de biodiesel e etanol hidratado em substituição ao diesel.

### **1.1.9.3 Modelagem dos impactos da adoção dos biocombustíveis: consumo e emissões**

Embora seja significativo o esforço de pesquisadores brasileiros na análise da agroindústria dos combustíveis, em suas várias vertentes e aspectos, ainda são relativamente escassos estudos sobre os balanços energéticos para o biodiesel, baseados em dados regionais e sobre uma amostra significativa de unidades produtoras. Assim, para o presente estudo os valores da demanda de insumos e as informações sobre a produção de matérias primas e processamento para o biodiesel

foram determinados a partir de diferentes estudos realizados no Brasil, traduzidos em valores energéticos com auxílio de uma mesma base de coeficientes. Os dados para o biodiesel de soja, relativos às culturas do norte do Paraná, foram tomados de Gazzoni et alli. (2006), para o biodiesel de palma foi utilizado o trabalho de Costa et alli. (2006), que estudaram essa agroindústria no Pará e para o biodiesel de sebo empregou-se a dissertação de Lopes (2006), que avaliou matadouros no interior de São Paulo. Embora não correspondam necessariamente a valores médios para o mercado brasileiro, esses estudos se referem a sistemas produtivos reais e podem ser considerados representativos.

Para os coeficientes de energia fóssil associada aos insumos energéticos, aos insumos não energéticos (fertilizantes, produtos químicos, etc.) e aos equipamentos utilizados, bem como para o etanol anidro de cana de açúcar, no âmbito dos estudos energéticos da produção de biodiesel por rota etílica, e o etanol hidratado sugerido para ser usado em motores diesel, a referência utilizada foi o trabalho de Seabra (2008), sobre uma ampla base de dados da agroindústria canavieira no centro-sul brasileiro. A partir desse levantamento de dados dos sistemas produtivos reais, convertido em consumo de energia fóssil utilizando uma base uniformizada de coeficientes energéticos, foi possível desenvolver balanços energéticos relativamente homogêneos e abrangentes, considerando a produção agrícola e o processamento industrial, e permitindo inferir as emissões em cada caso. Na Tabela 13 são apresentados os principais resultados desse estudo para o diesel e os biocombustíveis puros adotados nos cenários estudados.

**Tabela 13 - Propriedades e parâmetros adotados para o diesel e os biocombustíveis puros**

Combustível	Poder calorífico inferior (MJ/kg)	Densidade (kg/L)	Consumo de energia fóssil (MJ/L)	Fator de emissão de GEE (kg CO <sub>2</sub> /L)
diesel convencional	42,3	0,84	41,22	2,489
biodiesel metílico de soja	39,5	0,92	11,16	1,019
biodiesel metílico de sebo	37,5	0,92	5,50	0,469
biodiesel metílico de palma	39,8	0,92	10,53	0,796
biodiesel etílico de palma	39,8	0,92	7,40	0,250
biodiesel etílico de sebo	37,5	0,92	2,25	0,135
etanol hidratado	26,4	0,79	2,71	0,257

Um aspecto relevante da avaliação do custo energético do biodiesel refere-se à partição dos custos comuns entre co-produtos, efetuado no presente estudo com base no valor energético de cada produto, como as tortas produzidas no processo de extração dos óleos vegetais e a glicerina resultante do processo de transesterificação. Particularmente no caso do processamento da soja, quando 82% da matéria prima é transformado em torta para alimentação animal, essa distribuição de custos comuns implicou em significativa redução dos custos do biocombustível. Mais detalhes sobre os procedimentos e hipóteses complementares adotadas para o balanço energético desses sistemas produtivos e na determinação dos valores dessa tabela estão disponíveis (CCAP, 2008).

#### 1.1.9.4 Impacto energético da adoção de biocombustíveis na produção de etanol

A substituição de diesel por biocombustíveis traz como efeito direto a redução do uso de energia fóssil, em uma proporção que depende do consumo desse novo combustível e da demanda de energia fóssil requerida em sua produção. Para os biocombustíveis puros esse último parâmetro foi apresentado na Tabela 13 e considerando os cenários estudados, pode ser estimado com base na composição dos biocombustíveis adotados.

Para estimar a variação de consumo volumétrico de combustível nas frotas das usinas ao adotarem o etanol ou o biodiesel, é razoável assumir que o trabalho a ser exercido pelos motores dos equipamentos agrícolas e dos caminhões é o mesmo para quaisquer combustíveis, dependendo das características dos combustíveis e do desempenho desses motores. Para os motores Diesel operando com biodiesel não se considerou qualquer variação de rendimento, já que os motores são praticamente os mesmos, contudo, para os motores com taxa de compressão mais alta, como deve ocorrer com o etanol, o ganho relativo de desempenho foi avaliado de forma expedita através das expressões de eficiência teórica dos ciclos de potência a ar, com base nas taxas de compressão dos motores (20:1 para motores a diesel ou biodiesel e 28:1 para motores a etanol), o que deve ser considerado uma primeira aproximação. Nessas condições, a relação entre as eficiências térmicas com o diesel convencional e com etanol hidratado aditivado foi estimada em 0,95. Nessas condições, é possível estimar o consumo de biocombustível de acordo com a expressão a seguir:

$$C_{biocombustível} = C_{diesel} \left[ \frac{(PC_i \cdot \rho)_{diesel}}{(PC_i \cdot \rho)_{biocombustível}} \left( \frac{\eta_{diesel}}{\eta_{biocombustível}} \right) \right] \quad (1)$$

onde:

C : consumo de combustível, (L/ha)

PC<sub>i</sub> : poder calorífico inferior, (MJ/kg)

ρ : densidade, (kg/L)

η : eficiência térmica do motor, (-)

Tendo sido estimado o consumo do biocombustível nas atividades agrícolas e de transporte de cana, e a demanda de energia fóssil em sua produção, é interessante avaliar o impacto relativo dessa substituição sobre o desempenho energético da agroindústria, ou seja, verificar quanto a adoção de bioenergia como vetor energético nos processos produtivos da etapa agrícola pode afetar a eficiência da cadeia de produção de etanol de cana de açúcar. Com esse propósito pode ser empregada a seguinte expressão para a relação de energia, RE, que indica a produção total de energia por unidade de consumo de energia fóssil:

$$RE = \frac{PE_{ref}}{CE_{ref} - \frac{1}{PC_{ref}} [(C.EF)_{diesel} - (C.EF)_{biocombustível}]} \quad (2)$$

onde:

RE : relação de energia, (MJ<sub>renovável</sub>/MJ<sub>fóssil</sub>)

PE : produção de energia renovável, (MJ/tc)

CE : consumo de energia fóssil, (MJ/tc)

PC : produtividade agrícola, (tc/ha)

C : consumo de combustível, (L/ha)

EF : consumo de energia fóssil na produção e uso do combustível, (MJ/L)

Para a avaliação da relação de energia através da expressão anterior, as condições de referência podem ser tomadas do trabalho de Seabra (2008). Assim, para a safra 2005/2008, foi considerada uma produtividade agrícola média de 87,1 tc/ha, o consumo de energia fóssil na produção de etanol (CE<sub>ref</sub>) foi avaliado em 234,2 MJ/tc (90% na fase agrícola e 10% na fase industrial) e a produção de energia renovável (PE<sub>ref</sub>) foi estimado em 2.198,4 MJ/tc (88% como etanol, 4% como excedente de energia elétrica e 8% como excedente de bagaço), correspondendo a uma relação de energia de 9,4.

Na

Tabela 14 são apresentadas, para os cenários estudados, as médias ponderadas das variáveis de interesse na avaliação do impacto energético, e na Tabela 15 constam os principais resultados na avaliação do impacto energético decorrente do uso de biocombustíveis: o consumo volumétrico específico, conforme a equação (1) e a razão entre a produção de energia e o consumo de energia fóssil, segundo a equação (2).

**Tabela 14 - Propriedades e parâmetros adotados para o diesel e os biocombustíveis**

Combustível	Poder calorífico inferior (MJ/kg)	Densidade (kg/L)	Consumo de energia fóssil (MJ/L)
Cenário de referência, diesel convencional	42,3	0,84	41,2
Cenário 1: B5 atual (85% biodiesel metílico de soja e 15% de sebo)	39,2	0,92	10,3
Cenário 2: B5 melhorado (85% biodiesel metílico de palma e 15% de sebo)	39,5	0,92	9,78
Cenário 3: B100 otimizado (85% biodiesel etílico de palma e 15% de sebo)	39,5	0,92	6,63
Cenário 4: E100 (etanol hidratado aditivado)	26,4	0,79	2,71

**Tabela 15 - Consumo de biocombustíveis e relação de energia considerando o uso de biocombustíveis**

Combustível	Consumo (L/ha)	Relação de energia (MJ <sub>renovável</sub> /MJ <sub>fóssil</sub> )
Cenário de referência, diesel convencional	230	9,4
Cenário 1: B5 atual (85% biodiesel metílico de soja e 15% de sebo)	227	9,6
Cenário 2: B5 melhorado (85% biodiesel metílico de palma e 15% de sebo)	225	9,6
Cenário 3: B100 otimizado (85% biodiesel etílico de palma e 15% de sebo)	225	15,4
Cenário 4: E100 (etanol hidratado aditivado)	392	16,0

De acordo com esses resultados e como esperado, o emprego de biocombustíveis pode melhorar de forma sensível a produtividade energética da cadeia produtiva do etanol de cana de açúcar. Com efeito, a demanda de diesel nas atividades agrícolas e no transporte de matéria prima representa cerca de 70% do consumo de energia na fase agrícola e 63% do consumo total de energia observado na produção de etanol, e a substituição de um combustível fóssil com demanda tão relevante traz impactos significativos, naturalmente proporcionais à fração substituída e às

características do biocombustível adotado. Assim, os cenários considerando a adoção de B100 e E100 corresponderam aos impactos mais relevantes, incrementando respectivamente em 64% e 70% a relação de energia observada no Cenário de referência. A pequena diferença nesse parâmetro observada entre os Cenários 1 e 2 (0,03%) decorre da semelhança dos custos energéticos do biodiesel em cada caso, essencialmente devida à partição dos custos energéticos no processamento da soja entre o óleo e a torta, que significou para o biodiesel de soja um custo energético similar ao estimado para o biodiesel de palma.

### **1.1.9.5 Impacto da adoção de biocombustíveis sobre as emissões na produção de etanol**

Deve ser observada uma redução das emissões de GEE associadas à produção do etanol de cana de açúcar devido à substituição parcial ou total do diesel utilizado em sua cadeia produtiva por biocombustível, na medida em que, como visto no tópico anterior, essa substituição implica em menor consumo de energia fóssil. Estimar essa redução é relativamente simples quando se dispõe de informações sobre as emissões observadas na produção desses combustíveis e se conhece o seu consumo. Nesse sentido, considerando os cenários de introdução de biocombustíveis e os fatores de emissão de GEE indicados na Tabela 13, é possível estimar fatores de emissão para os biocombustíveis a serem adotados.

Com esses fatores de emissão, através da equação (3), é possível estimar as emissões em cada cenário. Nesse caso, as condições de referência também foram tomadas do estudo de Seabra (2008) para a safra 2005/2006, em que se estimaram emissões totais líquidas de 269 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de etanol anidro, com aportes de GEE de 493 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de etanol anidro (53% devido aos combustíveis fósseis, 17% devido à queimada da cana e 30% atribuídos às emissões do solo) e créditos de 224 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de etanol anidro. Para a produtividade agroindustrial da agroindústria do etanol foi adotado 7.517 litros de etanol por hectare, a partir dos valores de Seabra (2008), observados para as usinas estudadas em seu estudo para a safra 2005/2006. Os valores obtidos para os fatores de emissão dos biocombustíveis em cada cenário, as emissões totais de GEE e sua redução relativa ao cenário de referência são apresentados na Tabela 16.

$$EGEE = EGEE_{ref} - \frac{1}{PAI_{ref}} [(C.FE)_{fossil} + (C.FE)_{biocombustível}] \quad (3)$$

onde:

EGEE : emissões de GEE, (kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de etanol anidro)

PAI : produtividade agroindustrial, (m<sup>3</sup> de etanol anidro/ha)

C : consumo de combustível, (L/ha)

FE : fator de emissão de GEE (kg CO<sub>2</sub>eq/litro de biocombustível)



**Tabela 16 - Fatores de emissão, emissões totais e redução porcentual das emissões totais associadas à adoção de biocombustíveis nas atividades agrícolas e transporte**

Combustível	Fator de emissão de GEE (kg CO <sub>2</sub> /L)	Emissões totais (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> etanol anidro)	Redução nas emissões de GEE (%)
Cenário de referência, diesel convencional	2,489	269,0	0,0%
Cenário 1: B5 atual (85% biodiesel metílico de soja e 15% de sebo)	0,937	266,7	0,9%
Cenário 2: B5 melhorado (85% biodiesel metílico de palma e 15% de sebo)	0,747	266,7	0,9%
Cenário 3: B100 otimizado (85% biodiesel etílico de palma e 15% de sebo)	0,233	222,8	17,2%
Cenário 4: E100 (etanol hidratado aditivado)	0,293	244,9	8,9%

Os resultados apresentados na

Tabela 16, também como poderia ser esperado, sinalizam impactos cuja magnitude é função da relação de energia do biocombustível utilizado, favorecendo: a) o emprego de biodiesel de palma e sebo frente ao biodiesel de soja, b) a rota etílica em relação à metílica e c) o uso de etanol hidratado aditivado. Enquanto as reduções de emissões de GEE para os Cenários 1 e 2 são pouco significativas, os dois outros cenários apresentam impactos consideráveis. Não obstante essas perspectivas favoráveis, atualmente apenas a rota metílica está efetivamente implementada e a produção de biodiesel de soja predomina largamente, como apresentado no início deste tópico, impondo ainda um razoável desenvolvimento tecnológico, seja nos processos produtivos, seja nas tecnologias de motores Diesel para que se alcance o efetivo desenvolvimento do potencial dos biocombustíveis no contexto explorado nesse estudo, ampliando a sustentabilidade na cadeia de produção do etanol de cana de açúcar.

### **1.1.10 Incremento da escala (capacidade de moagem) das usinas de açúcar e etanol**

Induzido pelo fator de escala nos custos dos bens de capital, que tem promovido a redução dos custos unitários na fase industrial com o incremento da capacidade das usinas, a expansão da produção canavieira em novas fronteiras agrícolas tem se associado ao adensamento das áreas cultivadas no entorno das unidades produtoras e ao aumento da moagem anual das usinas. Considerando as duas safras mais recentes (2007/2008 e 2008/2009), a capacidade média das usinas na região Centro-Sul se elevou em 9,5% e a moagem média das 3 maiores unidades evoluiu de 6,66 para 7,41 milhões de toneladas anuais (MAPA, 2010).

O transporte da matéria prima é um dos itens relevantes no custo energético do etanol e conseqüentemente sobre as emissões de GEE associadas à sua produção. Conforme o estudo de Seabra (2008) para a região centro-sul, na safra 2005/2006, o transporte de cana de açúcar significou um consumo energético de 36,8 MJ/tc, correspondendo à 17,5% do consumo energético na etapa agrícola e 15,7% do consumo total de energia na produção de etanol. Assumindo um valor energético para o diesel (poder calorífico inferior mais a energia consumida em sua produção e logística) de 41,2 MJ/litro e uma produtividade industrial de 86,3 litros de etanol anidro por tonelada de cana, valores adotados anteriormente nesse estudo, resulta um consumo de 10,3 litros de diesel por mil litros de etanol.

Para a avaliação da demanda energética acima, adotada como condição de referência para a movimentação de matéria prima do canavial até a usina, foi considerada uma distância de transporte média de 23 km, determinada a partir de uma amostra de 44 usinas do centro-sul durante a safra 2005/2006 (Seabra, 2008). Assumindo para essas usinas uma moagem anual de 2,27 milhões de toneladas de cana (estimada a partir da moagem total da amostra, 100 milhões de toneladas) e considerando uma produtividade agrícola de 87,1 tc/ha, com um ciclo de 6 anos e 5 cortes, é possível estimar uma área de 31.275 ha ocupados com cana de açúcar, para uma usina representativa dessa amostra.

Para explorar o impacto da escala das usinas e o adensamento sobre o consumo de energia no transporte da cana e as emissões associadas, um modelo simplificado pode ser baseado na fração em canaviais da área ao redor das usinas. Assumindo áreas circulares ao redor das usinas e recordando que o raio médio de um círculo vale 2/3 de seu raio, essa fração ou o adensamento médio, pode ser definida pela equação abaixo:

$$AM = \frac{\text{Área em canaviais}}{\text{Área total pelo raio médio de transporte}} = \frac{0,01 \cdot AC_{\text{ref}}}{\pi \cdot \left( \frac{3 \cdot \bar{R}_{\text{transp}}}{2} \right)^2} \quad (4)$$

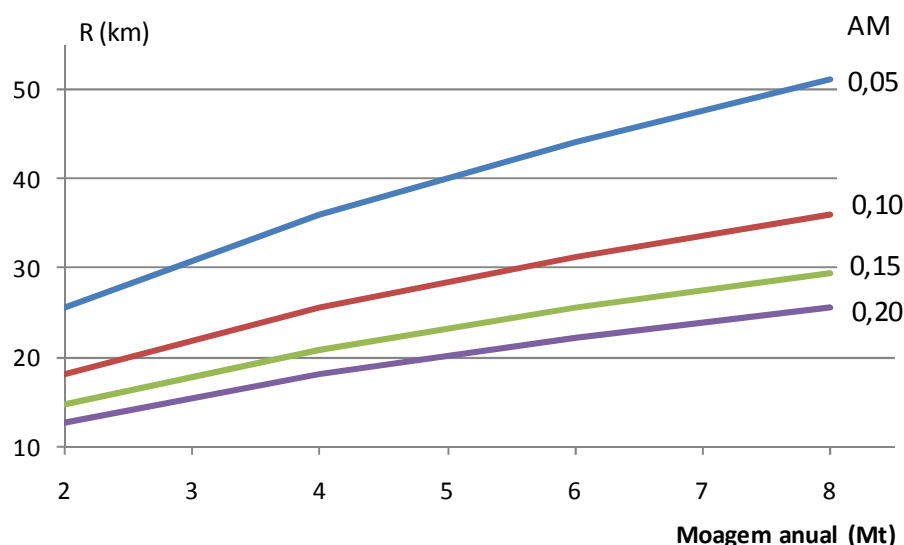
onde:

AM : adensamento médio, (-)

AC : área ocupada por canaviais, (ha)

$\bar{R}_{\text{transp}}$  : raio médio de transporte, (km)

Nas condições da usina de referência, resulta um adensamento médio de 7,0%, significando que, em princípio ainda pode ser ampliado, significando uma redução da distância média de transporte e conseqüente menor custo energético. A equação (4) permite também determinar o raio médio de transporte, quando conhecidas a área dos canaviais e o adensamento médio. Desse modo foi possível preparar a Figura 15, fornecendo valores do raio médio em função do adensamento e da moagem anual, nas condições apresentadas. Como pode ser observado nessa figura, há uma clara elevação da distância de transporte da matéria prima com o aumento da capacidade da usina, impondo o adensamento dos canaviais para manter essa distância em níveis razoáveis. As distâncias médias de transporte, observadas na safra 2008/2009 em São Paulo, Goiás e Mato Grosso, respectivamente de 25,1 km, 22,8 km e 22,7 km, parecem indicar que as novas usinas, relativamente maiores, localizadas nos dois últimos estados, estão alcançando o propósito de contar com fontes de matéria prima próximas (MAPA, 2010). Por exemplo, em uma usina processando em um ano 4 milhões de toneladas, o objetivo é conseguir adensar os canaviais para manter um raio médio de transporte menor que 25 km, garantindo um custo de transporte competitivo (Chiarinelli, 2008).



**Figura 15 - Raio médio de transporte em função da capacidade da usina e adensamento dos canaviais**

A eficiência do transporte de cana, avaliada em litro de diesel por t.km depende diretamente do tipo de veículo adotado. Para a cana inteira, colhida manualmente são usados caminhões com carrocerias abertas, que podem ser simples (atualmente pouco usados), ou com várias outras carretas acopladas a uma unidade tratora, em função da capacidade de tração e da legislação de transporte rodoviário a ser atendida. Para a cana colhida mecanicamente as carrocerias devem ser fechadas para evitar alguma perda dos toletes de cana durante o transporte. A Tabela 17 apresenta valores de referência para o consumo específico no transporte da cana em função do tipo de veículo (CTC, apud CGEE, 2005).

**Tabela 17 - Parâmetros de veículos usados no transporte de cana**

Tipo	Carga (t)	Consumo específico (L/tc.km)
Caminhão simples	15	0,030
Romeu e Julieta	28	0,022
Treminhão	45	0,019
Rodotrem	58	0,016

Considerando os valores calculados para os raios de transporte, adotando o consumo específico correspondente à composição tipo Romeu e Julieta (caminhão mais reboque), é possível estimar o consumo de diesel na operação de transporte de matéria prima na produção de etanol para os diferentes valores de adensamento e capacidade. Esse consumo pode ser traduzido em unidades energéticas e em emissões de GEE por tonelada de cana produzida, como apresentado na Tabela 18.

**Tabela 18 - Impacto da capacidade de moagem e do adensamento dos canaviais no consumo de energia e nas emissões de GEE associadas ao transporte de cana de açúcar na produção de etanol**

Adensamento	Capacidade de moagem (Mt/ano)							
	2,0		4,0		6,0		8,0	
	MJ/tc	kgCO2/tc	MJ/tc	kgCO2/tc	MJ/tc	kgCO2/tc	MJ/tc	kgCO2/tc
0,02	46,2	4,08	65,4	5,78	80,1	7,08	92,5	8,17
0,04	32,7	2,89	46,2	4,08	56,6	5,00	65,4	5,78
0,06	26,7	2,36	37,7	3,34	46,2	4,08	53,4	4,72
0,08	23,1	2,04	32,7	2,89	40,0	3,54	46,2	4,08

Os resultados dessa avaliação também podem ser apresentados em termos relativos, frente à usina de referência (com moagem anual de 2,27 Mt e 7% de adensamento, com emissões totais de 269 kgCO2eq/m<sup>3</sup> de etanol anidro), considerando os resultados de Seabra (2008), permitindo inferir como devem variar as emissões totais em função da capacidade da usina e do adensamento dos canaviais.

**Tabela 19 - Impacto da capacidade de moagem e do adensamento dos canaviais nas emissões de GEE associadas ao transporte de cana de açúcar na produção de etanol, frente às emissões observadas em uma usina de 2,27 Mt/ano, com 7% de adensamento**

Adensamento	Capacidade de moagem (Mt/ano)			
	2,0	4,0	6,0	8,0
0,02	2%	9%	15%	19%
0,04	-3%	2%	6%	9%
0,06	-6%	-1%	2%	4%
0,08	-7%	-3%	-1%	2%

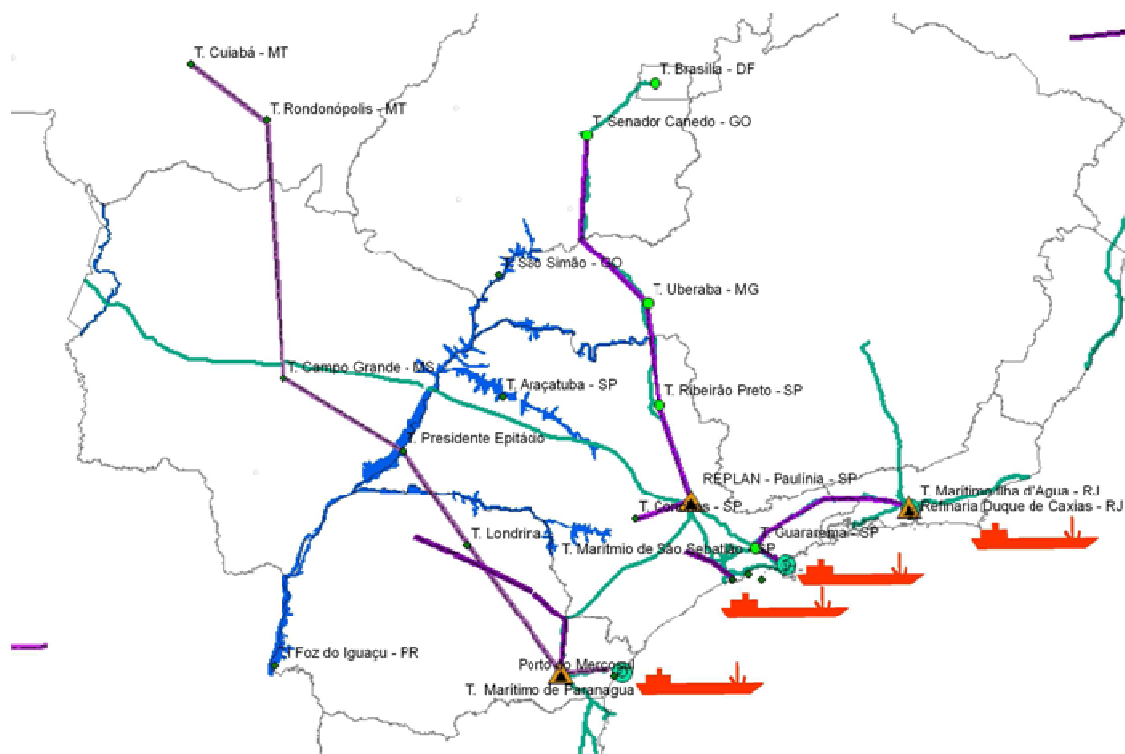
A análise desenvolvida nesse tópico é preliminar e indicativa, não incluindo outros efeitos associados à variação do adensamento, por exemplo, decorrentes da alteração da distância de transporte de subprodutos como a vinhaça e da torta de filtro da usina para o campo. Do mesmo modo, um relevante aspecto do incremento da capacidade instalada é o aumento do desempenho dos sistemas industriais, devido à redução das perdas e melhorias de projeto e operação que usualmente são mais disponíveis em sistemas de maior porte. Esses aspectos devem ser objeto de estudos complementares.

### **1.1.11 Adoção de modais mais eficientes para o transporte do etanol**

Como usual no transporte de carga no Brasil, o etanol de cana de açúcar é movimentado entre as usinas e os pontos de consumo basicamente mediante por modal rodoviário. Esse predomínio do transporte sobre pneus decorre

principalmente da capacidade pulverizada e da distribuição geográfica interiorizada das centenas unidades de produção, que de forma diversa das poucas refinarias de petróleo, não alcançam escala econômica para a adoção de modais reconhecidamente mais eficientes em termos energéticos. Com efeito, ao ser comparado com os produtos de petróleo, a logística do etanol é mais simples, com limitado acesso aos modais ferroviário, dutoviário e hidroviário.

Não obstante, como resultado da expansão da produção de etanol em regiões mais afastadas dos mercados consumidores mais importantes, do significativo incremento da capacidade instalada em novas usinas, bem como devido às possibilidades de exportação desse biocombustível, tem avançado de forma interessante algumas propostas de implantação de transporte dutoviário e hidroviário, justificando que sejam efetuadas avaliações sobre as possíveis alterações nas emissões de GEE no ciclo de vida do etanol. Como referências básicas para a presente avaliação foram empregados os estudos de Seabra (2008), que assumindo uma distância de movimentação de 337 km, estimou que a distribuição do etanol, nas condições realizadas no Brasil, corresponde ao consumo em energia fóssil (essencialmente diesel) de 58,3 MJ/tc, e o trabalho de Scandiffio (2009), especificamente voltado para a logística do etanol e suas perspectivas de desenvolvimento no país, discutindo os projetos de dutos e hidrovias em curso. Nos últimos anos foram propostos e aparentemente avançam para as etapas iniciais de implantação alguns projetos de dutos exclusivos para o transporte de etanol entre as novas regiões produtoras (sul de Goiás e Mato Grosso) e os terminais de onde poderá ser exportado: Paranaguá, Santos, São Sebastião e Rio de Janeiro, conforme se apresenta na Figura 16.



**Figura 16 - Dutos existentes e em projeto para o transporte de etanol no centro-sul brasileiro (Scandiffio, 2009)**

Como se sabe, o transporte e a distribuição de etanol ocorrem empregando uma seqüência de modais e com armazenamentos intermediários, atendendo a pressupostos econômicos e restrições de infra-estrutura. Assim, para um estudo

detalhado do efeito da seleção das cadeias logísticas sobre os indicadores de sustentabilidade no transporte de etanol são necessárias informações sobre a matriz de modais utilizada, com as distâncias e os volumes respectivamente movimentados, dados limitadamente disponíveis. Dessa forma, visando uma avaliação expedita e comparativa do impacto do tipo de modal sobre o consumo energético e as emissões de GEE, se apresenta a seguir os resultados associados ao transporte de um metro cúbico de etanol ao longo de mil quilômetros, considerando quatro diferentes modais e adotando os consumos específicos indicados na Tabela 20.

**Tabela 20. Consumos específicos considerados para o transporte de etanol**

Modal	Consumo específico	Referência
Rodoviário	30 t.km/litro de diesel	Ministério dos Transportes (Scandiffio, 2009)
Ferroviário	125 t.km/litro de diesel	idem
Hidroviário	575 t.km/litro de diesel	idem
Dutoviário	130 kJ/m <sup>3</sup> .km	calculado a partir de GREET (Seabra, 2008)

É importante observar que a energia requerida nos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário deve ser associada ao uso de diesel, enquanto o modal dutoviário consome energia elétrica, afetando evidentemente a estimativa das emissões de GEE. Foram adotados como fatores de emissão 88,4 gCO<sub>2</sub>/MJ para o diesel (adaptado de IPCC, 2006) e 0,336 kgCO<sub>2</sub>/MWh para a energia elétrica, média dos fatores médios anuais indicados pelo MCT para os anos 2006 a 2009 no Sistema Interligado Nacional (MCT, 2010).

**Tabela 21 - Consumo energético e emissões associadas à movimentação de um m<sup>3</sup> de etanol em 1000 km**

Modal	Consumo (MJ/(m <sup>3</sup> .1000 km))	Emissão de GEE (kgCO <sub>2</sub> eq)
Rodoviário	935	82,611
Ferroviário	224	19,827
Hidroviário	49	4,310
Dutoviário	130	0,001

É interessante constatar que o transporte dutoviário, mesmo não sendo o modal mais eficiente em termos energéticos (o transporte hidroviário mostrou o menor consumo), pelo fato de utilizar energia elétrica, produzida no caso brasileiro majoritariamente em hidrelétricas, apresenta a menor emissão de GEE, podendo contribuir de forma positiva para a redução dos impactos ambientais no ciclo de vida do etanol de cana de açúcar.

## 1.2 Exame do impacto da produção de etanol no balanço hídrico nas regiões de expansão<sup>16</sup>

### 1.2.1 Apresentação

O relatório anterior apresentou uma breve descrição da sustentabilidade dos recursos hídricos em bacias hidrográficas com cobertura predominante de cana-de-açúcar, concluindo principalmente que faltam informações suficientes para avaliar o impacto da mudança de uso da terra (LUC) sobre o balanço hídrico da bacia hidrográfica onde serão inseridas as novas unidades produtoras.

O Brasil possui a maior disponibilidade hídrica do planeta, 13,8% do deflúvio médio mundial. Conforme ilustrado na Tabela 22 disponibilidade hídrica do planeta (AMBIENTE BRASIL, 2005).

Tabela 22. Disponibilidade hídrica do planeta.

Regiões	Oferta (Deflúvio médio) 1998		Consumo	
	Total (km <sup>3</sup> /ano)	Per capita (m <sup>3</sup> /hab/ano)	Total (km <sup>3</sup> /ano)	Per capita (m <sup>3</sup> /hab/ano)
<i>Africa</i>	3 996	5 133.05	145.14	202
<i>America do Norte</i>	5 308.60	17 458.02	512.43	1798
<i>America Central</i>	1 056.67	8 084.08	96.01	916
<i>America do Sul</i>	10 080.91	30 374.34	106.21	335
<b>Brasil</b>	<b>5 744.91</b>	<b>30 374.34</b>	<b>36.47</b>	<b>246</b>
<i>Ásia</i>	13 206.74	3 679.91	1633.85	542
<i>Europa</i>	6 234.56	8 547.91	455.29	625
<i>Oceania</i>	1 614.25	54 794.64	16.73	591
<i>Mundo</i>	41 497.73	6 998.12	3240	645

Fonte: WRI, 1998c e ANEEL, 1999.

A rede hidrográfica brasileira é constituída por rios navegados em corrente livre e por hidrovias geradas pela canalização de trechos de rios, além de extensos lagos isolados, criados pela construção de barragens para fins exclusivos de geração hidrelétrica, apresenta elevadas condições de umidade na maior parte do território nacional, sendo considerada como a mais densa do planeta (AMBIENTE BRASIL, 2005).

Dentro desta rede hidrográfica, a área ocupada por um rio principal e todos os seus tributários, cujos limites constituem as vertentes, é chamada de Bacia Hidrográfica.

As bacias hidrográficas brasileiras são formadas a partir de três grandes divisores:

16 Pesquisadores responsáveis: Paulo S. Graziano Magalhães (FEAGRI/UNICAMP), Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol), Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP), Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP).



- Planalto Brasileiro
- Planalto das Guianas
- Cordilheira dos Andes

Com a instituição da Lei 9.433/97, definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tendo como base o princípio acima, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, segundo a resolução no. 32, de 15 de outubro de 2003, formado por 12 bacias, como mostra a Figura 17 (ANA e MMA, 2005b). Ressaltam-se oito grandes bacias hidrográficas existentes no território brasileiro (Tabela 23) (AMBIENTE BRASIL, 2005).



**Figura 17. Divisão Hidrográfica Nacional (Resolução no. 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos).**

**Tabela 23. Bacias Hidrográficas Brasileiras**

Bacia Hidrográfica	Área (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	%	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade Hídrica (km <sup>3</sup> /ano)
Amazonas	3900	45,8	133.380	4.206,27
Tocantins	757	8,9	11.800	372,12
Atlântico Norte	76	0,9	3.660	115,42
Atlântico Nordeste	953	11,2	5.390	169,98
São Francisco	634	7,4	2.850	89,98
Atlântico Leste 1	242	2,8	680	21,44
Atlântico Leste 2	303	3,6	3.670	115,74
Paraguai	368	4,3	1.290	40,68
Paraná	877	10,3	11.000	346,90
Uruguai	178	2,1	4.150	130,87
Atlântico Sudeste	224	2,6	4.300	135,60
<b>Brasil</b>	<b>8512</b>	<b>100,0</b>	<b>182.170</b>	<b>5.744,91</b>

Considera-se como região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

### 1.2.2 Zoneamento agrícola

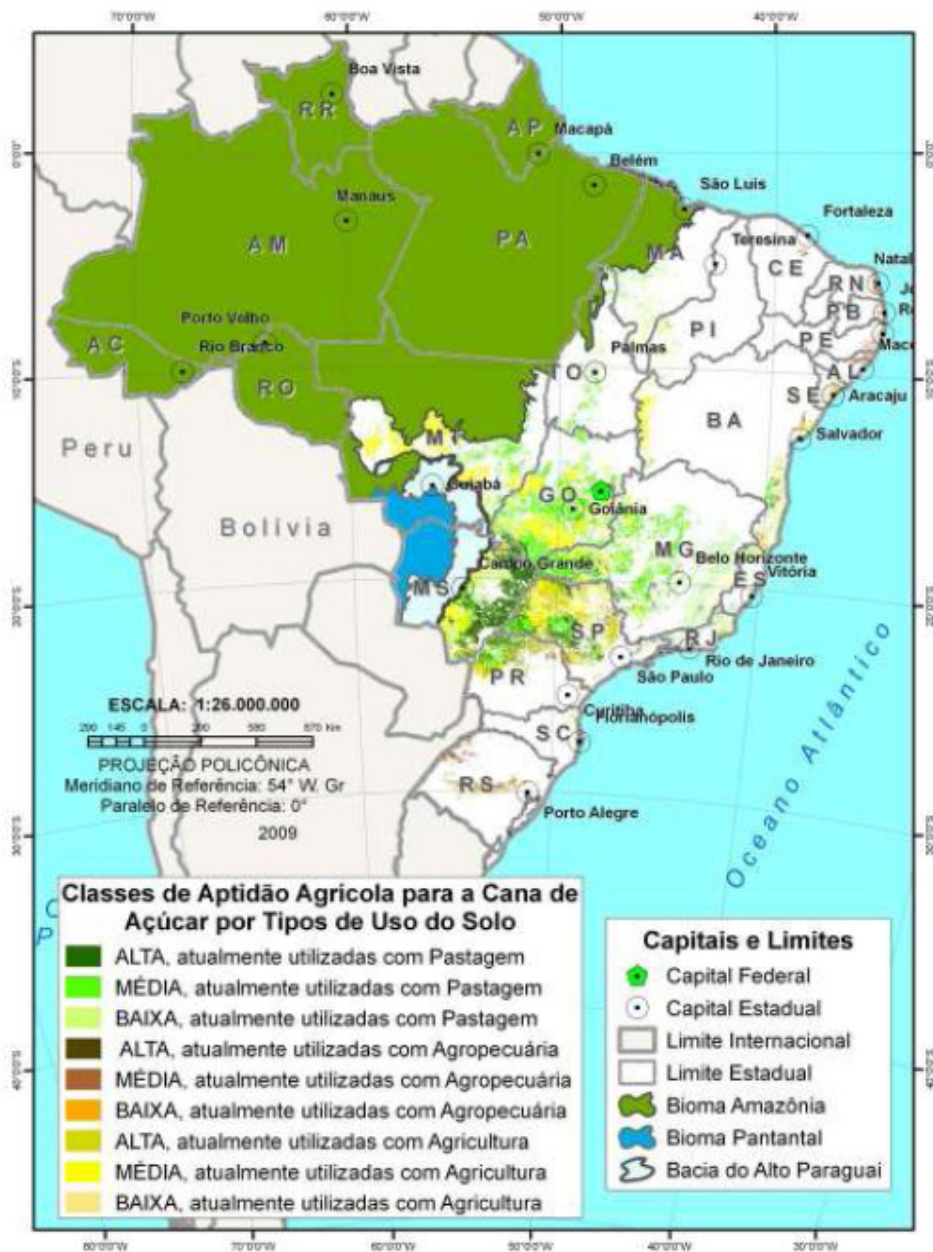
Com objetivo geral de fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas visando a expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território nacional o foi lançado pela EMBRAPA em 2009 o Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar (EMBRAPA, 2009). Os estudos foram realizados por Estado da Federação não abrangidos totalmente pelo bioma Amazônia.

No ZAE Cana foram avaliados os impactos ambientais e socioeconômicos mais relevantes. Dentre os impactos ambientais foram avaliados os seguintes aspectos: o ordenamento da produção evitando expansão em área com cobertura vegetal nativa; cogeração de energia elétrica diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e gerando créditos de carbono; conservação do solo e da água, através de técnicas conservacionistas diminuindo a erosão dos solos cultivados; diminuição da emissão de gases de efeito estufa pela substituição progressiva da queimada pela colheita mecânica.

Para cada área de estudo abrange 21 estados da federação onde foram utilizadas avaliações de aptidão climática incluindo estudos probabilísticos; aptidão pedológica, neste caso englobando deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão, impedimentos à mecanização e impedimento ao sistema radicular; aptidão edafoclimática, que é o resultado do cruzamento das informações de aptidão pedológica com as informações de aptidão climática, sem analisar as possíveis restrições referentes a outros temas. O terceiro componente da legenda do ZAE da Cana é o uso da terra,

baseado nos dados oriundos do projeto PROBIO coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, que realizou o mapeamento do uso e cobertura vegetal do território nacional, utilizando imagens de satélites, ano base 2002.

As áreas aptas estimadas foram agrupadas por Tipo de Uso da Terra e por Classe de Aptidão Agrícola e estão apresentadas de forma sintetizada na Figura 18.



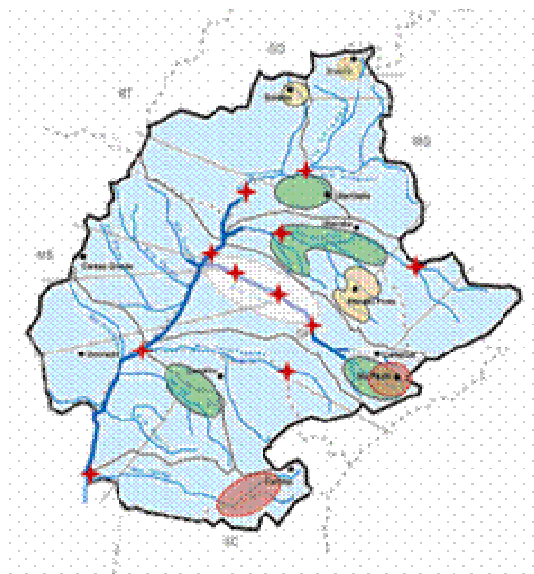
**Figura 18. Áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar por classe de uso e de aptidão. (EMBRAPA, 2009).**

Observa-se neste gráfico que a principal região considerada apta para o cultivo da cana-de-açúcar está localizada na bacia hidrográfica do Paraná (Figura 17), com uma área de 88,7 milhões de ha e disponibilidade hídrica de  $346,9 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ .

### 1.2.3 Bacia do Paraná

Pertence a uma bacia maior, não estando totalmente em território brasileiro, banhando também a Argentina, Paraguai e o Uruguai. No Brasil a região abrange sete unidades da Federação: Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e o Distrito Federal. O Rio Paraná nasce da união dos Rios Paranaíba e Grande, na divisa MS/MG/SP; possui o maior potencial hidrelétrico instalado no país, com destaque para a Usina Binacional de Itaipu, fronteira com o Paraguai. Os principais afluentes do Rio Paraná estão na margem esquerda: Tietê, Paranapanema e Iguazu. Na margem direita, recebe como principais afluentes os Rios Suruí, Verde e Pardo, (Figura 19). Com 32% da população nacional, sendo 90% em áreas urbanas, apresenta o maior desenvolvimento econômico do País.

O crescimento de grandes centros urbanos, como São Paulo, Curitiba e Campinas, em rios de cabeceira, tem gerado uma grande pressão sobre os recursos hídricos. Isso ocorre porque, ao mesmo tempo em que aumentam as demandas, diminui a disponibilidade de água devido à contaminação por efluentes domésticos, industriais e drenagem urbana. Originalmente, a Região Hidrográfica do Paraná apresentava os biomas de Mata Atlântica e Cerrado e cinco tipos de cobertura vegetal: Cerrado, Mata Atlântica, Mata de Araucária, Floresta Estacional Decídua e Floresta Estacional Semidecídua. O uso do solo na região passou por grandes transformações ao longo dos ciclos econômicos do País, o que ocasionou um grande desmatamento.



Fonte: ANA e MMA, 2005<sup>a</sup>

Figura 19. Bacia do Paraná

### 1.2.4 Águas Subterrâneas

Em função da forma como as rochas armazenam e transmitem a água, as unidades geológicas podem ser divididas em três domínios aquíferos:

- Fraturado: água está associada à presença de discontinuidades na rocha, responsáveis por uma porosidade secundária associada a falhas, fraturas e diáclases. É representado pelas rochas ígneas e metamórficas e constitui os terrenos denominados genericamente de cristalinos;

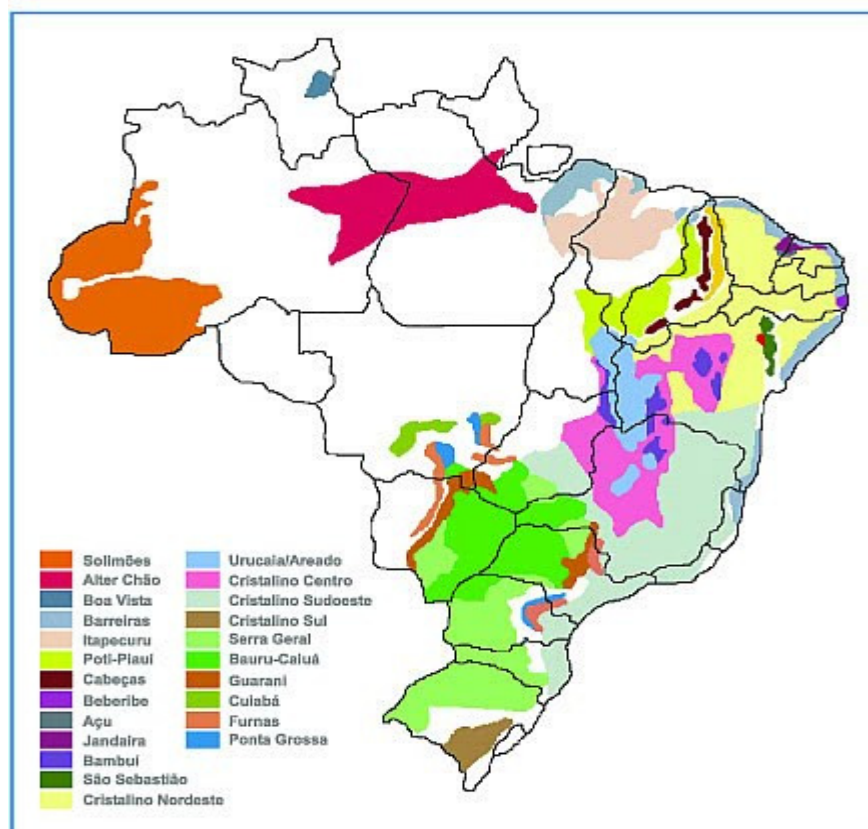
- Fraturado-Cárstico: água está relacionada à presença de discontinuidades na rocha, como falhas, fraturas e diáclases, associadas a feições de dissolução. Corresponde à região de ocorrência de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias. A estas últimas estão relacionadas as feições de dissolução;
- Poroso: água está contida entre os grãos que compõem a rocha (porosidade primária). É representado pelas rochas sedimentares.

De forma geral, as rochas sedimentares constituem os melhores aquíferos em termos de produtividade de poços e reservas hídricas. Os terrenos sedimentares ocupam cerca de 4.130.000 km<sup>2</sup> da área do território nacional, ou seja, aproximadamente 48% do total, com boa distribuição, ocorrendo na maioria das regiões hidrográficas. Deste total, 2.761.086 km<sup>2</sup> (32% do país) correspondem à área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país. A ampla presença de bacias sedimentares no território brasileiro, aliadas a condições climáticas favoráveis denota grande potencial para a água subterrânea.

A Figura 20 mostra a área de recarga dos 27 principais sistemas aquíferos brasileiros e a divisão hidrográfica nacional com as doze regiões. A disponibilidade de águas subterrâneas dos principais sistemas aquíferos do país é apresentada na Tabela 22, assim como as regiões hidrográficas dominantes, o tipo de aquífero (poroso, fraturado, fraturado-cárstico; livre ou confinado), a espessura média, a área de recarga e a precipitação média sobre ela (ANA e MMA, 2005b).

A utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma significativa nos últimos tempos, inclusive no Brasil. Há um acréscimo contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação de recursos hídricos subterrâneos. Mais que uma reserva de água, as águas subterrâneas devem ser consideradas como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social de regiões extremamente carentes, e de todo o Brasil.

A exploração da água subterrânea está condicionada a três fatores: quantidade (condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento de terrenos); qualidade (composição de rochas, condições climáticas e renovação das águas); econômico (depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento) (AMBIENTE BRASIL, 2005).



MAPA 2.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS AQUIFEROS BRASILEIROS  
 FONTE: MMA, 2003

**Figura 20** Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país, (Fonte MMA 2003).

Como podemos observar na Tabela 24 na região de expansão da cana-de-açúcar está inserida dentro da área de recarga de três importantes aquíferos: Baurú-Caiuá, Serra Geral e Guarani, com área total de recarga de 85,5 milhões de ha.

O emprego das águas subterrâneas na irrigação e na indústria ainda é muito pequeno nesta região, se comparado ao abastecimento público. Ainda são largamente utilizadas no abastecimento de hotéis, condomínios, colégios e postos de gasolina. Os volumes de água subterrânea disponibilizada através dos poços tubulares distribuem-se irregularmente pela região.

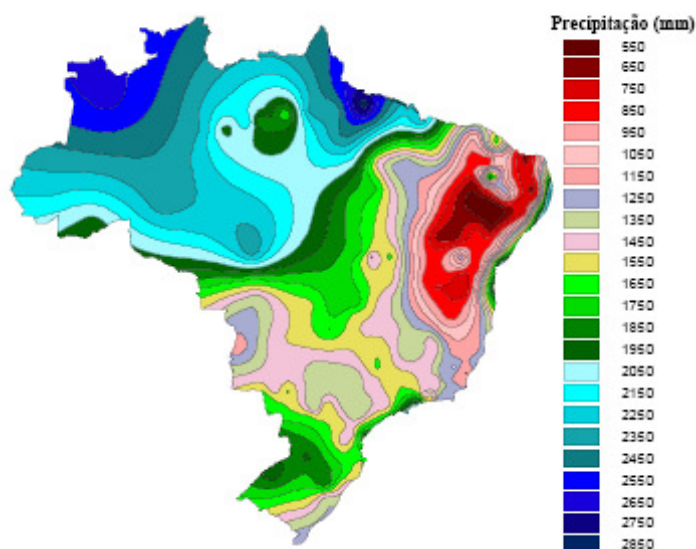
### 1.2.5 Águas Superficiais

No país, a precipitação média anual é de 1.797 mm, variando desde menos de 800 mm, na região semiárida do Nordeste, a mais de 2.500 mm, na Amazônia (Figura 21) (ANA e MMA, 2005b).

**Tabela 24. Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país**

Sistema Aquífero	Tipo <sup>1</sup>	Região Hidrográfica dominante	Área de recarga (km <sup>2</sup> )	Espessura média (m)	Precipitação (mm/ano)	Reserva (m <sup>3</sup> /s)	
						Renovável	Explotável <sup>2</sup>
Solimões	P,L	Amazônica	457.864	-	2.208	4.481,5	896,3
Alter do Chão	P,L		312.574	-	2.098	1.247,5	249,5
Boa Vista	P,L		14.888	-	2.450	162,0	32,4
Parecis	P,L		88.157	150	1.890	2.324,0	464,8
Jandaíra	CF	Atl. NE Ori.	11.589	600	823	30,5	6,1
Açu	P,C		3.674	200	881	10,5	2,1
Itapecuru	P,L	Tocantins/Araguaia Parnaíba	204.979	100	1.836	1.074,0	214,8
Corda	P,L,C		35.266	160	1.371	46,0	9,2
Motuca	P,L		10.717		1.470	15,0	3,0
Poti-Piauí	P,L,C		117.012	400	1.342	650,0	130,0
Cabeças	P,L,C		34.318	300	1.104	36,0	7,2
Serra Grande	P,L,C		30.450	500	943	63,5	12,7
Barreiras	P,L,C	Atl. Leste Atl SE Atl. NE Ori. Atl. NE Ocid.	176.532	60	1.938	1.085,0	217,0
		Tocantins/Araguaia					
Beberibe	P,L,C	Atl. NE Ori.	318	100	2.073	2,0	0,4
Marizal	P,L,C	Atl. Leste São Francisco	18.797	200	514	36,0	7,2
São Sebastião	P,L,C	Atl. Leste	6.783	-	1.358	41,0	8,2
Inajá	P,L,C	São Francisco	956	300	722	1,5	0,3
Tacaratu	P,L	São Francisco	3.890	200	965	14,5	2,9
Exu	P,L	Atl. NE Ori.	6.397	-	777	3,0	0,6
Missão Velha	P,L,C	Atl NE Ori.	1.324	130	1.115	1,0	0,2
Urucuiá-Areado	P,L	São Francisco Parnaíba	144.086	300	1.294	1.182,0	236,4
Bambuí	CF	Tocantins/Araguai	181.868	-	1.165	201,5	40,3
Bauru-Caiuá	P,L	Paraná	353.420	200	1.457	2.939,5	587,9
Serra Geral	F	Paraná Atl. Sul	411.855	150	1.681	3.731,5	746,3
Guarani	P,L,C	Uruguai Paraguai	89.936	250	1.487	805,7	161,1
Ponta Grossa	P,L,C	Tocantins/Araguaia Paraguai	24.807	300	1.543	145,5	29,1
Fumas	P,L,C		24.894	200	1.511	143,0	28,6
<b>TOTAL</b>			<b>2.761.086</b>			<b>20.473,2</b>	<b>4.094,6</b>

<sup>1</sup>: P: Poroso; L: Livre; C: Confinado; F: Fraturado; CF: Cárstico-fraturado.<sup>2</sup>:20% das reservas renováveis.  
-: Dados insuficientes.



**Figura 21. Isoietas anuais no país, entre 1961 e 1990.**

A Tabela 25 mostra a precipitação média em cada uma das 12 regiões hidrográficas brasileiras. A precipitação média da Bacia do Paraná está um pouco abaixo da média brasileira com  $1.511 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Comparando estes valores com as precipitações ocorridas entre 1931 e 1960 para bacia do Paraná, observa-se que não houve variação significativa nesta região. (ANA e MMA, 2005b).

**Tabela 25. Precipitação média anual nas regiões hidrográficas.**

Região hidrográfica	Precipitação média* (mm)
Amazônica	2.239
Tocantins/Araguaia	1.837
Atlântico Nordeste Ocidental	1.790
Parnaíba	1.117
Atlântico Nordeste Oriental	1.218
São Francisco	1.037
Atlântico Leste	1.058
Atlântico Sudeste	1.349
Atlântico Sul	1.568
Uruguai	1.785
Paraná	1.511
Paraguai	1.399
<b>Brasil</b>	<b>1.797</b>

\* Período 1961 - 1990

### 1.2.6 Balanço entre disponibilidade hídrica e demanda

Apesar de não expressar a real disponibilidade de água da bacia, o quociente entre a vazão média anual e a população residente é frequentemente utilizado pelas Nações Unidas como indicador de disponibilidade hídrica por habitante em grandes regiões. Neste sentido, o Brasil é considerado rico, com uma disponibilidade de  $33 \text{ mil m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  distribuída nas doze regiões hidrográficas, como mostra a Tabela 26 (ANA e MMA, 2005b).



**Tabela 26. Vazão média por habitante no país.**

Região hidrográfica	População (10 <sup>6</sup> hab)	Vazão média	
		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /hab/ano)
Amazônica	8	131.947	533.096
Tocantins/Araguaia	7	13.624	59.858
Atlântico Nordeste Ocidental	5	2.683	15.958
Parnaíba	4	763	6.458
Atlântico Nordeste Oriental	21	779	1.145
São Francisco	13	2.850	7.025
Atlântico Leste	14	1.492	3.362
Atlântico Sudeste	25	3.179	3.972
Atlântico Sul	12	4.174	11.316
Uruguai	4	4.121	33.893
Paraná	55	11.453	6.807
Paraguai	2	2.368	39.559
<b>Brasil</b>	<b>170</b>	<b>179.433</b>	<b>33.376</b>

A relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos aponta a situação atual da utilização dos recursos hídricos no país. Em relação a este indicador a Figura 22 mostra que esta região da bacia do Paraná encontra-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções devidos principalmente a conflitos de usos com a irrigação, com alguns rios apresentando situação preocupante e críticas na região de expansão da cana-de-açúcar como mostra

a

Tabela 27.

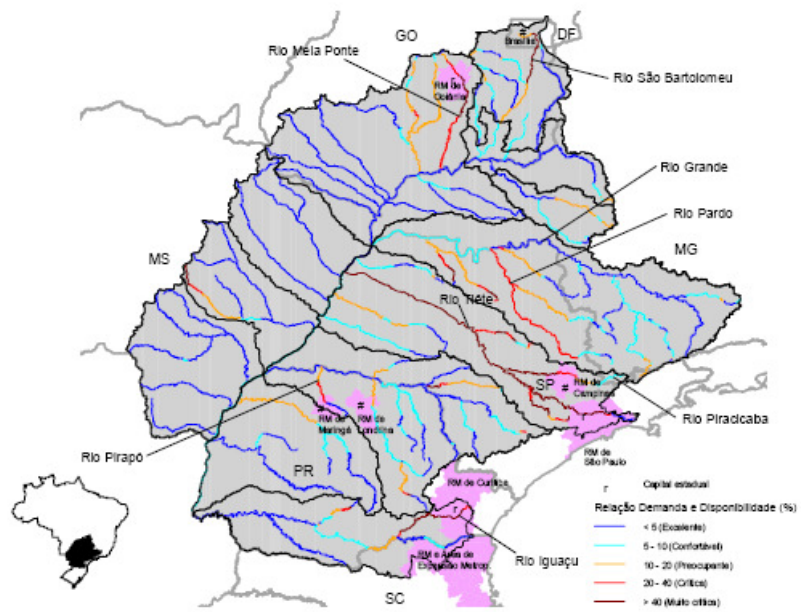


Figura 22. Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná

**Tabela 27. Principais rios com trechos onde a relação entre demanda e disponibilidade é pelo menos preocupante (>10%) na bacia do Paraná.**

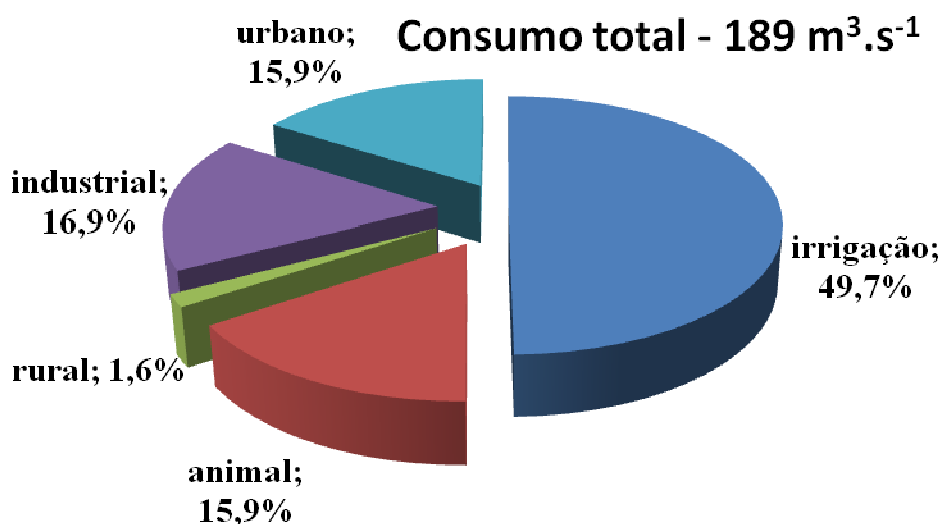
Rio e localidade	Situação
Rio Corumbá, GO	Muito Crítica
Rio Meia Ponte, GO	Preocupante
Rio Turvo e rio dos Bois, GO	Crítica
Afluentes do rio Grande:	
Rios Sapucaí, Turvo, SP	Preocupante
Rio Pardo (afluente do rio Mogi-Guaçu), SP	
Afluentes do rio Grande:	
Rio Moji-Guaçu, SP	Crítica
Rios Tietê e Piracicaba, SP e MG	Muito Crítica
Rio Iguapeí ou Feio, SP	
Rio Anhanduí, entre os municípios de Campo Grande e Nova Andradina-MS	Preocupante
Rio Pardo (afluente do rio Paranapanema), SP	
Rio Ivaí, PR	
Rio Iguaçú, entre Curitiba e União da Vitória	Muito Crítica
Rio Jordão, próximo ao município de Guarapuava-PR	Preocupante

Os resultados do balanço entre vazão de retirada e disponibilidade hídrica para água subterrânea para os aquíferos da bacia do Paraná são apresentados na Tabela 28. De forma geral, é possível observar que a maioria dos sistemas aquíferos potencialmente poderia atender às demandas de água dos municípios (ANA e MMA, 2005b).

**Tabela 28. Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos da bacia do Paraná.**

Bacia	Vazão de retirada potencial ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Reserva explorável ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Vazão de retirada potencial/ Reserva explorável (%)
Baurú-Caiuá	123,7	587,9	21
Serra Geral	298,8	746,3	40
Guarani	91,8	161,1	57

Apesar da situação crítica ou preocupante de alguns rios da bacia do Paraná, segundo os dados da ANA e MMA, (2005b) a bacia apresenta uma relação entre retirada ( $479 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e retorno ( $290 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) superior a 60%. A Figura 23 mostra como ocorre a distribuição do consumo de água na bacia do Paraná.



**Figura 23. Distribuição do consumo de água na bacia do Paraná em porcentagem. (adaptado de ANA e MMA, 2005b).**

### **1.2.7 Cultivo da Cana**

No cultivo da cana-de-açúcar a água é suprida basicamente, pelos vários efluentes gerados no processo produtivo (tratados ou não), que são recirculadas e em função da precipitação das chuvas. Excepcionalmente, nos casos críticos de estiagem, algumas plantações são irrigadas com água in natura, extraídas de mananciais próximos, porém este procedimento está limitado à distância das plantações e ao mecanismo utilizado de aspersão.

### **1.2.8 Conclusão**

Segundo o zoneamento agrícola da cana-de-açúcar a área de expansão da cultura deverá ocorrer predominantemente sobre a bacia do rio Paraná. Esta bacia apresenta características favoráveis ao desenvolvimento da cana, com precipitação média anual de 1.511 mm, e disponibilidade hídrica de 346,9 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, localizada em área de recarga de três importantes aquíferos, apresenta apenas algumas sub-bacias com situação preocupante ou crítica em relação a disponibilidade e retirada de água.

Apesar desta situação aparentemente confortável na região e da não utilização da prática de irrigação como técnica agrícola para se aumentar a produtividade da cultura, observa-se que o ZAE Cana não levou em conta as consequências da alteração do uso da terra nesta bacia. O ZAE Cana mostra que o potencial de expansão da cana-de-açúcar nesta bacia deve ocorrer principalmente sobre áreas de pastagem. Os processos de produção de cana-de-açúcar em função da produção de biomassa (toneladas por hectare) e composição (70% aproximadamente é água) impactam o balanço hídrico da região. Contudo não está claro como esta alteração do uso da terra impactará o meio ambiente, e é necessário conhecer e avaliar este impacto de forma a garantir uma produção sustentável.

Uma análise mais crítica permite suscitar algumas perguntas em relação à disponibilidade hídrica para a produção etanol nesta região para garantir uma produção com sustentabilidade.

- 1) A água é (ou será) um recurso natural limitante na produção de bioetanol em um sistema sustentável?
- 2) Qual é a demanda real de água (agrícola) para a produção de etanol de cana de açúcar ( $m^3.GJ^{-1}$ )?
- 3) As alterações do uso da terra causam alterações da demanda de água. Com os modelos matemáticos existentes é possível prever com precisão o impacto destas demandas? Quais informações são necessárias para alimentar estes modelos? Dependem de experimentos de campo?
- 4) Quais os impactos no sistema hidrológico das bacias hidrográficas com a substituição da pastagem por cana-de-açúcar?
- 5) A prática agrícola de irrigação é viável de ser aplicada na região de expansão com deficiência hídrica? Quais são os benefícios (energéticos, financeiros, ambiental) da implementação desta prática?

Com o Objetivo de tentar responder a estas perguntas foi realizado no dia 11 de junho de 2010 um workshop no CTBE contando com a participação de convidados brasileiros e estrangeiros, com a presença de especialistas da área para se discutir com melhor propriedade qual é o nível de conhecimento nesta área e o que se deve fazer para avançar o conhecimento neste campo.

### **1.2.8.1 O Workshop**

Programa.

8:30h - Abertura: Prof. Arnaldo Walter (CTBE-UNICAMP)

8:45h - A água é (ou será) um recurso natural limitante na produção de bioetanol em um sistema sustentável?

Palestrante: Wouter Buytaert (Imperial College, Londres)

Debatedor 1: Fernando Antônio Macena da Silva (Embrapa Cerrado)

Debatedor 2: Marcos Freitas (COPPE)

9:45h Qual é a demanda real de água (agrícola) para a produção de etanol de cana de açúcar ( $m^3/GJ$ )?

Palestrante: Joaquim Seabra (CTBE)

Debatedor 1: Jorge Donzelli (CTC)

Debatedor 2: André Elia Neto (CTC)

10:45h - Intervalo para Café

11:15h Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: diagnose e propostas de adaptação e mitigação em bacias hidrográficas nos diferentes Biomas brasileiros.

Palestrante: Lineu Rodrigues (Embrapa Cerrado)

Debatedor 1: Hilton Silveira Pinto (CEPAGRI - UNICAMP)

12:15h - Almoço

13:30h Qual a situação atual de algumas bacia quanto a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos?

Debatedor 1: Margareth Simões Penello (Embrapa LABEX - França)

Debatedor 2: Denis Miguel Roston (FEAGRI)

Debatedor 3: Eng. Luis Moretti - (DAE - Piracicaba)

Debatedor 4: Representante da CETESB.

14:30h - Com os modelos matemáticos existentes é possível prever com precisão o impacto que as alterações do uso da terra causam na demanda de água? Quais informações são necessárias para alimentar estes modelos? Dependem de experimentos de campo?

Palestrante: Carey King (Universidade do Texas)

Debatedor 1: Lineu Rodrigues (Embrapa Cerrado)

15:30h - Intervalo para Café

16:00h - A prática agrícola de irrigação é viável de ser aplicada na região de expansão com deficiência hídrica? Quais são os benefícios (energéticos, financeiros, ambiental) da implementação desta prática?

Palestrante: Pedro Carnaúba (Usina Cururipe)

Debatedor 1: Flávio Arruda (IAC - Irrigação Campinas)

Debatedor 2: Marcelo Calgaro (Embrapa Semiárido).

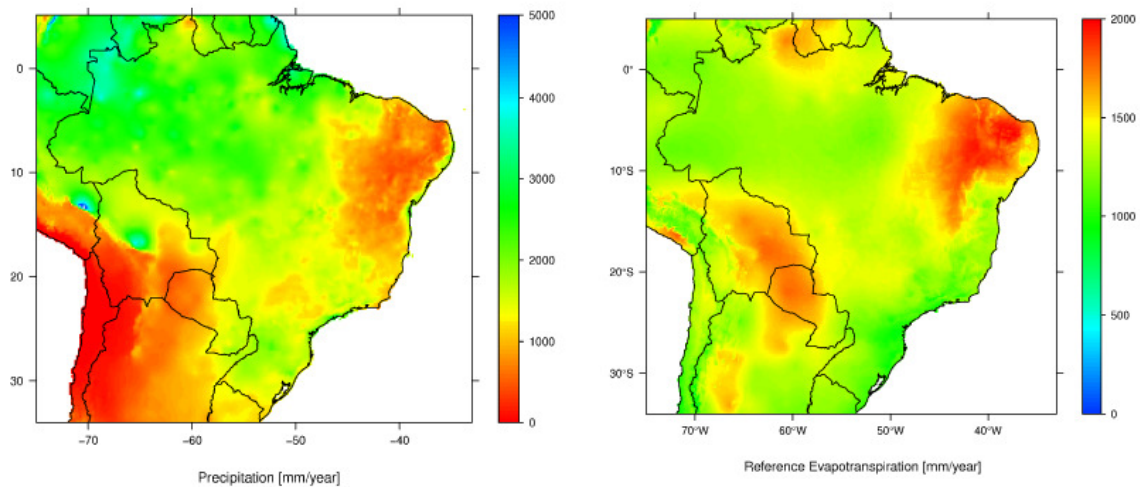
17:00h Encerramento

### **1.2.9 A água é (ou será) um recurso natural limitante na produção de bioetanol em um sistema sustentável?**

**Wouter Buytaert (Imperial College, Londres).**

Hoje as condições climáticas existentes no Brasil garantem a produção de cana-de-açúcar de forma sustentável

## Climatic conditions



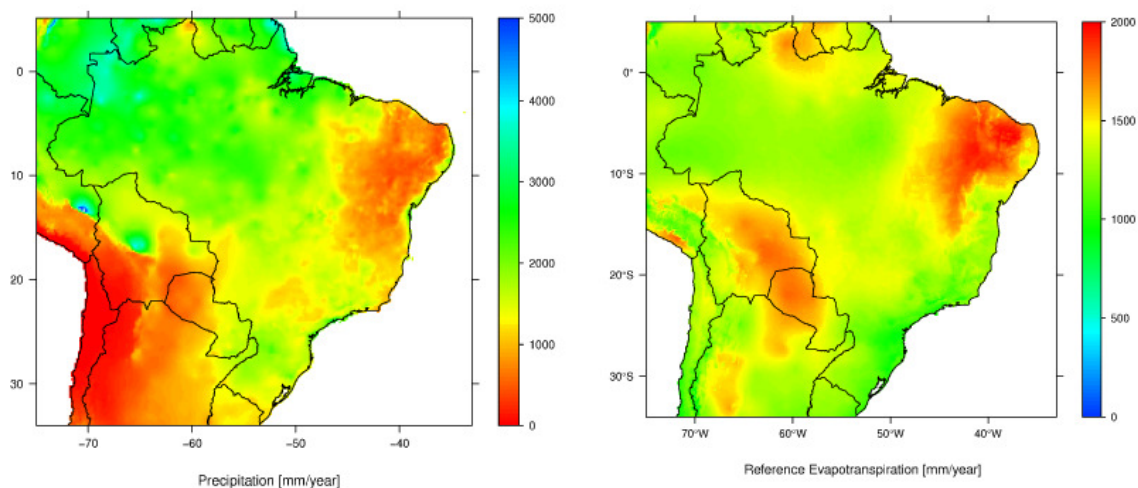
O equilíbrio relativo na área de produção entre as precipitações anuais e a evapotranspiração é favorável à cana que depende de uma estação longa, quente com alta incidência de radiação solar e umidade adequada à planta que usa de 148 a 300g de água para produzir 1,0g de substância seca. Uma estação razoavelmente seca, ensolarada e fresca, mas sem geada, para amadurecimento e cultivo. Uma precipitação total entre 1100 e 1500 mm é adequada se a distribuição for certa, abundante nos meses de crescimento vegetativo seguido por um período de amadurecimento mais seco. O crescimento da planta também está intimamente ligado à temperatura. A temperatura ideal para brotação de cortes no caule é 32° para 38°C. Isto diminui para baixo de 25°C, alcança um platô entre 30° - 34°C é reduzida acima de 35°C e praticamente para quando a temperatura está acima de 38°C. Temperaturas acima de 38°C reduzem a fotossíntese e aumentam a respiração. Para amadurecimento, porém, temperaturas relativamente baixas em uma faixa de 12°C a 14°C são desejáveis, desde que isso tenha uma influência notável na redução de crescimento vegetativo e enriqueça a sacarose da cana. Em temperaturas altas uma reversão de sacarose em frutose e glicose pode ocorrer além do aumento da foto respiração então isso leva a menos acúmulo de açúcares. Climas frios severos inibem a brotação da gema em cultivo soqueira e prende o crescimento de cana. Temperaturas abaixo de 0°C induzem ao congelamento de partes menos protegidas tais como folhas jovens e gemas laterais. O dano depende da extensão do período frio. O início carvão e espalhamento são altos em temperatura ambiente de 25° - 30°C. De forma similar, o espalhamento de vermelho não doente é alto em temperaturas altas (37 - 40°C) quando todas as outras condições são similares. A incidência de ferrugem é alta quando as temperaturas mínimas são drasticamente reduzidas. A incidência de Shoot-fly é alta no verão quando as temperaturas são muito altas. Também, a alta incidência de Shoot-fly foi observada quando a diferença entre temperatura máxima (dia) e mínima (noite) é baixa. Alta umidade (80 - 85%) favorece um alongamento de cana rápido durante o período de crescimento. Um valor moderado de 45 - 65 % junto com um suprimento de água limitado é favorável durante a fase de amadurecimento. (Fonte: <http://www.sugarcane crops.com/p/climate/>).

Contudo os estudos formais apresentados no 4º relatório do IPCC mostram que existe uma forte tendência de ocorrer alterações neste equilíbrio com alteração da

temperatura média anual, o que aumentaria o estresse hídrico e exigiria a irrigação da cultura nas regiões onde hoje não é necessário.

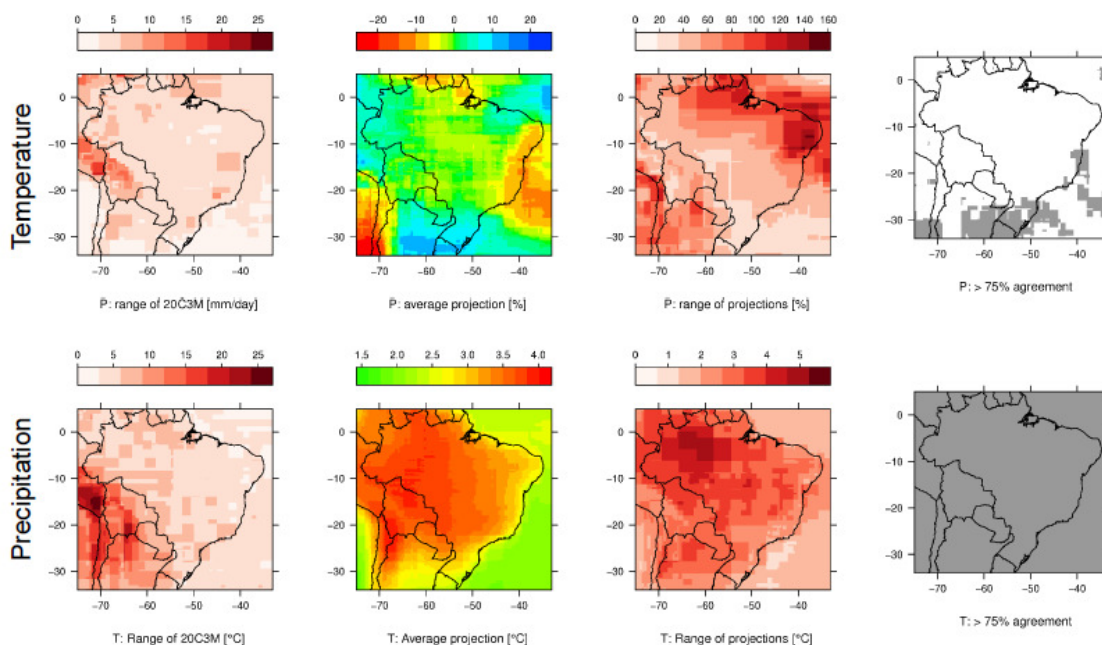
As consequências deste desequilíbrio hidrológico podem prejudicar principalmente culturas como a cana que demandam alta quantidade de água para sua produção, déficit na recarga dos aquíferos e aumento do escoamento superficial. Isto induz a redução da qualidade da água pela contaminação com fertilizantes e pesticidas.

### Climatic conditions



**Figura 24 – Distribuição da precipitação e evapotranspiração anual no Brasil.**

### Future conditions (IPCC 4<sup>th</sup> assessment report)

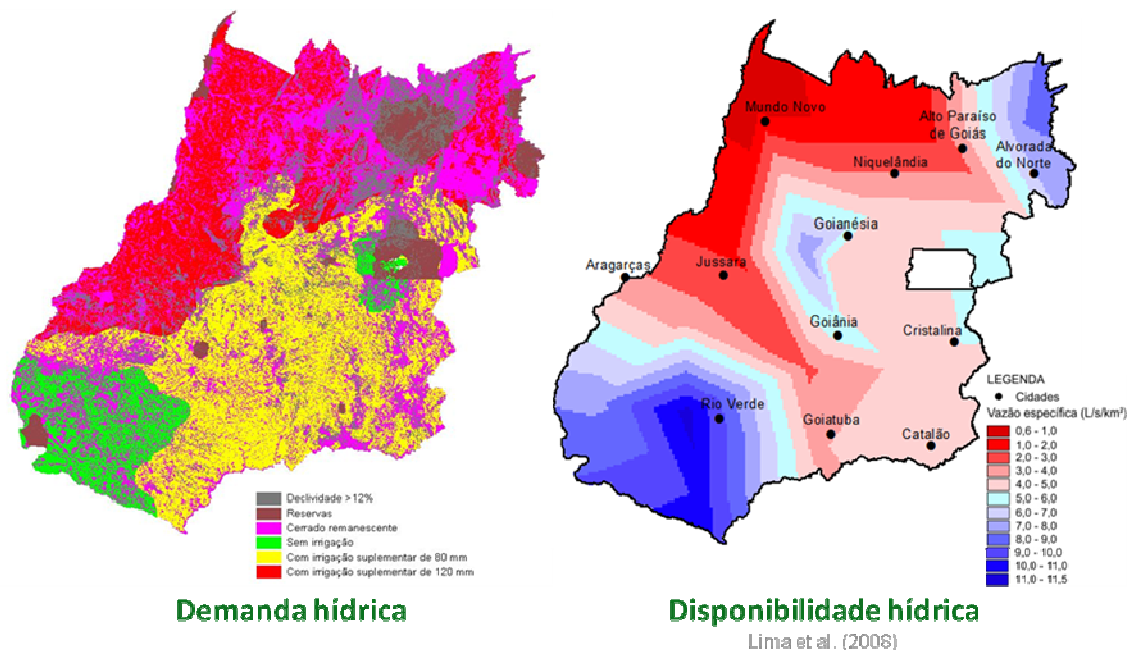


**Figura 25 - Alterações da temperatura e da precipitação em função do aquecimento global. Fonte (4th IPCC assessment report).**

Fernando Antônio Macena da Silva (Embrapa Cerrado)



Em uma avaliação da oferta e da demanda hídrica para o cultivo de cana-de-açúcar no Estado de Goiás realizada pela Embrapa, foi detectado que as condições climáticas do Cerrado hoje já exigem o uso da técnica de irrigação complementar para o cultivo da cana. Apesar da precipitação média anual estar dentro das condições exigidas pela cultura, sua distribuição irregular prejudica o desenvolvimento da planta nos períodos de março a novembro. A Figura 26 mostra o mapa que apresenta a demanda e a disponibilidade hídrica do estado de Goiás. Observamos que as áreas com maior demanda de água para irrigação da cana-de-açúcar no Estado de Goiás (porção noroeste do estado) são as que possuem as menores disponibilidades hídricas nos rios, assim, devem receber atenção especial quanto à introdução dessa cultura, bem como em relação à gestão de seus recursos hídricos. Na porção sudoeste do estado, de uma forma geral, não há restrições hídricas com relação ao cultivo de cana-de-açúcar. No restante do estado, há condições hídricas para o cultivo de cana-de-açúcar, contudo, a relação entre a oferta e a demanda hídrica para essa prática deve ser sempre avaliada com alguma atenção. Dos 18,5 Mha possíveis para o cultivo de cana apenas 2,61 não dependem de irrigação, 9,38 Mha demandam irrigação suplementar de até 80 mm e 6,48 Mha e precisam de irrigação de salvamento de 120 mm.

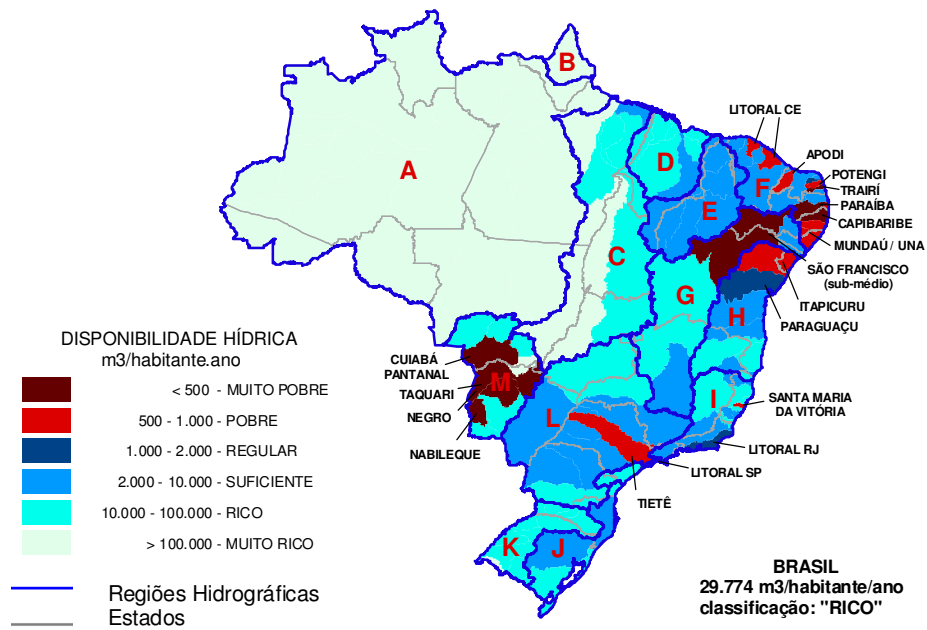


**Figura 26 – Demanda e disponibilidade hídrica no estado de Goiás. Fonte: Lima et. al. 2008.**

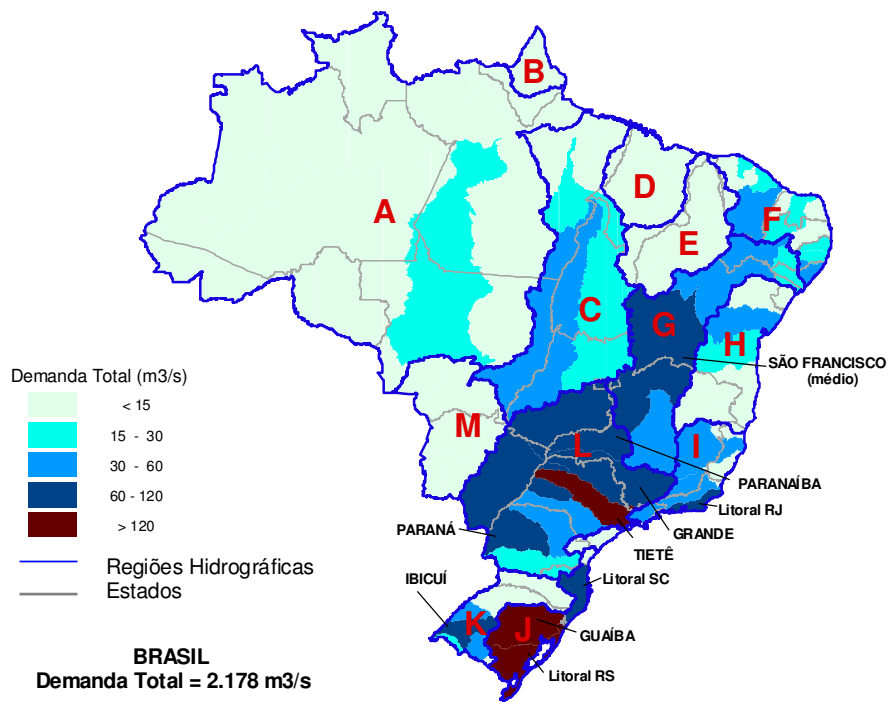
Marcos Freitas (COPPE- RJ)

A afirmação que existe oferta de água em quantidade e qualidade no Brasil hoje é duvidosa. Embora o Brasil detenha 13% da disponibilidade hídrica mundial, esta distribuição de recursos hídricos no país não é equilibrada. Enquanto o Norte apresenta excelente disponibilidade com mais de 100.000 m<sup>3</sup>.habitante-1.ano-1 existem regiões muito pobres com menos de 500 m<sup>3</sup>.habitante-1.ano-1 Figura 27. Por sua vez a demanda também não é equilibrada, pois regiões de alta disponibilidade apresentam baixas demandas enquanto regiões de alta demanda nem sempre estão em locais com suficiente disponibilidade, Figura 28. Observando a área de expansão da cana principalmente no Centro Oeste, observamos que esta

área já apresenta uma demanda de irrigação média para alta com valores em torno de 20 a 100 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> Figura 29.



**Figura 27 – Disponibilidade hídrica no Brasil por região hidrográfica.**



**Figura 28 – Demanda hídrica do Brasil por região hidrográfica.**

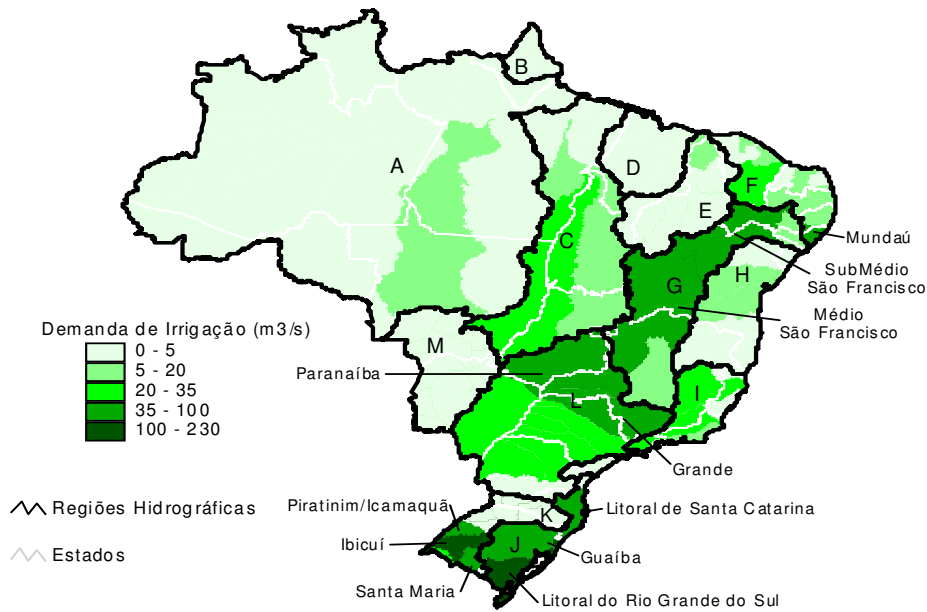


Figura 29 – Demanda de irrigação nas regiões hidrográficas do Brasil.

### 1.2.10 Qual é a demanda real de água (agrícola) para a produção de etanol de cana de açúcar (m<sup>3</sup>/GJ)?

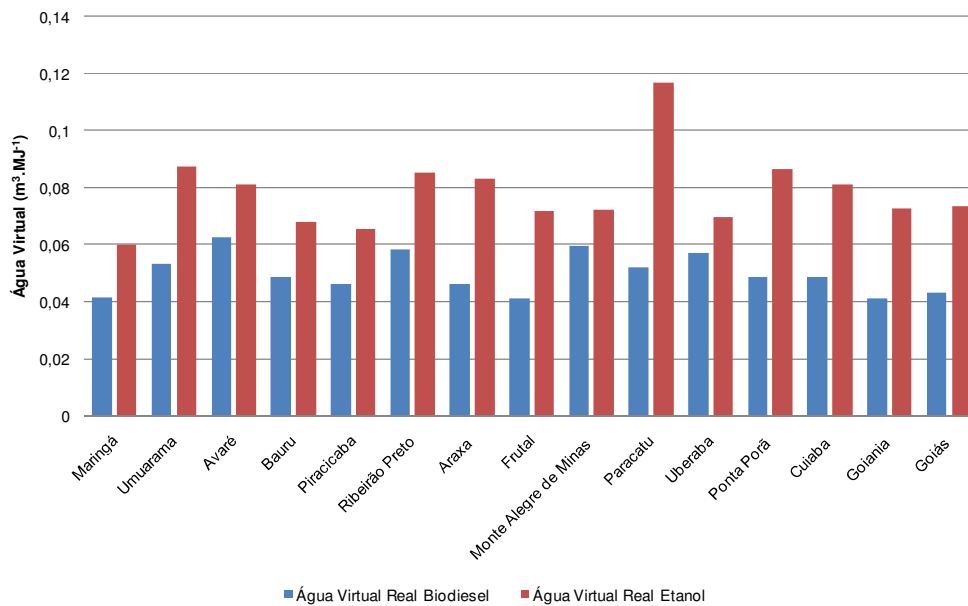
Joaquim Seabra (CTBE)

A água virtual se refere ao volume de água necessário para a produção de uma mercadoria ou serviço, sendo freqüentemente denotada por uma quantidade de água consumida por unidade de produto ou serviço. No caso de produtos agrícolas, a água virtual é estimada a partir do volume de água consumido pela cultura durante o seu período de crescimento, chamado de requerimento de água da planta. Isso é estimado a partir da água evapotranspirada pela planta no período, que corresponde à água disponível para a planta (chuva efetiva) por tonelada de produto. A água virtual é composta pelas parcelas verde e azul: a água virtual verde faz referência à água evapotranspirada proveniente da chuva, ao passo que a água virtual azul faz se refere à parcela evapotranspirada proveniente de irrigação.

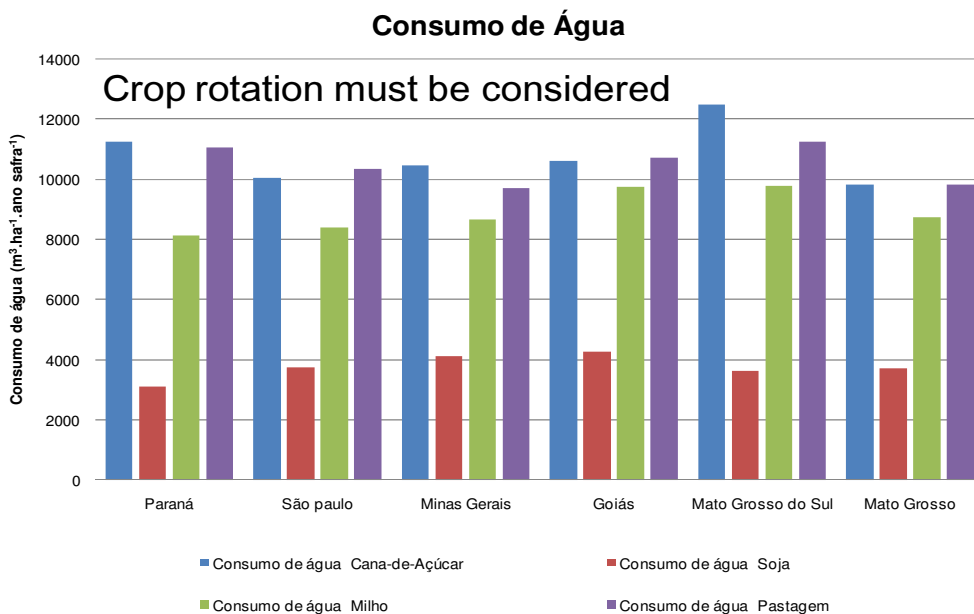
Um exercício preliminar foi conduzido para estimar a água virtual associada ao etanol de cana e ao biodiesel de soja, assim como o consumo de água de outras culturas para permitir comparações. A obtenção da água virtual e do consumo de água contou com o auxílio do software CROPWAT 8.0, utilizando dados de produtividade do IBGE. A avaliação foi realizada para os estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, considerando situações de cultivo irrigado e não irrigado. Os resultados preliminares deste estudo são apresentados nas figuras abaixo.

A água virtual do etanol variou entre 0,06 e 0,12 m<sup>3</sup>/MJ, enquanto que para o biodiesel a variação ficou essencialmente entre 0,04 e 0,06 m<sup>3</sup>/MJ. O menor consumo de água do biodiesel deve-se basicamente ao critério de alocação adotado, o qual atribuiu a maior parte do consumo ao farelo de soja. No caso das culturas, nota-se um consumo de água relativamente elevado para a cana, mas que deve ser comparado frente às diferentes opções de usos da terra (pastagens, rotações de culturas, florestas, etc.) e disponibilidade de água de cada região, para

se ter uma idéia mais clara sobre o eventual impacto da expansão da cana no balanço hídrico.



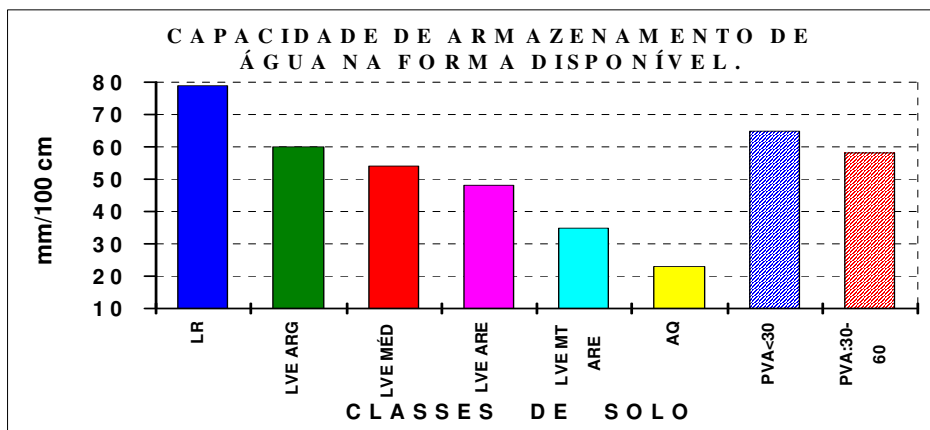
**Figura 30. Conteúdo de água virtual de biocombustíveis.**



**Figura 31. Consumo de água de diferentes culturas.**

Jorge Donzelli (CTC)

A disponibilidade hídrica para uma determinada cultura não depende apenas do equilíbrio da precipitação e evapotranspiração, mas também da capacidade de armazenamento de água no solo. Latossolos Vermelho escuro estruturados apresentam capacidade de armazenamento muito superior a um Latossolo Vermelho Amarelo ou uma areia quartzosa (Figura 32).

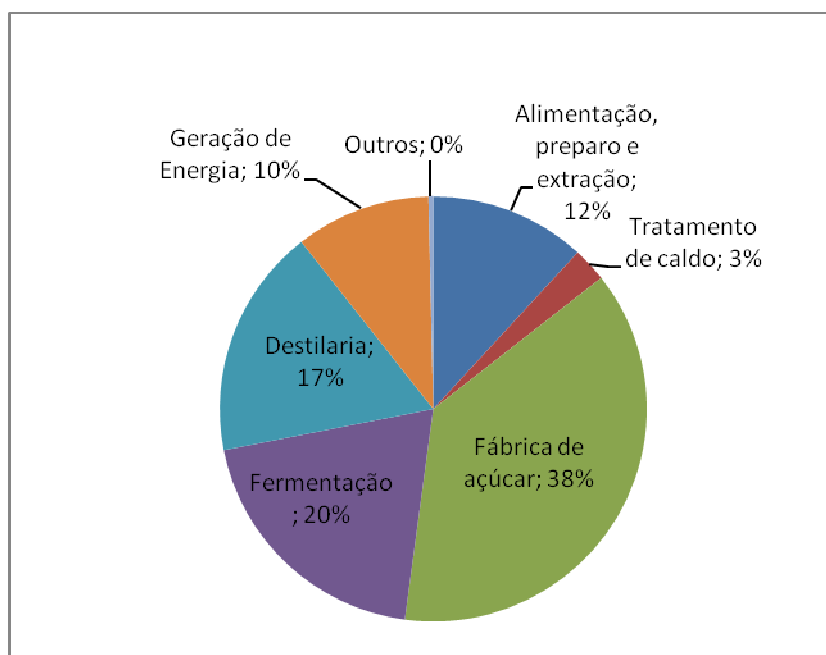


**Figura 32 - Capacidade de armazenamento de água em diferentes tipos de solo. (LR – Latossolo roxo; LVE ARG – Latossolo vermelho escuro fase argilosa; LVE MÉD – Latossolo vermelho escuro fase médio; Latossolo vermelho escuro fase arenosa; AQ – areia quartzosa; PVA - Podzólico vermelho amarelo distrófico.**

Como consequência podemos ter regiões geograficamente próximas com a mesma condição hídrica (precipitação e recursos hídricos), que apresentam diferentes respostas ao desenvolvimento da cultura devido ao tipo de solo onde estão instaladas. Hoje no estado de São Paulo a única região com demanda excessiva de água para a irrigação seria o Alto Paranapanema.

### André Elia Neto (CTC)

A necessidade média de água considerando o uso e o reuso da água é em torno de  $22 \text{ m}^3 \cdot \text{tc}^{-1}$  que está dividida de acordo com o gráfico apresentado na Figura 33. Em virtude principalmente da legislação vigente existem usinas que atualmente captam menos que  $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{tc}^{-1}$  e a tendência atual é que este valor continue a reduzir podendo chegar a valores próximos de zero nos próximos ano.



**Figura 33 – Distribuição média dos usos setoriais de água na indústria sucroenergética.**

Contudo

se

observarmos

na

Tabela 29, a relação demanda/oferta em algumas regiões do estado de São Paulo são críticas com valores superiores a 90% (Piracicaba/Capivarí/Jundiaí, Sapucaí/Grande) o que é extremamente preocupante, levando as seguintes conclusões:

- Para as áreas tradicionais, como, por exemplo, no Estado de SP, a demanda de água industrial situa-se próxima a oferta mínima de água na maioria das UGRHI, com grande contribuição do setor canavieiro;
- Com a captação média e água de 2 m<sup>3</sup>/t.cana, a participação relativa da demanda industrial canvieira é ainda significativa na maioria das UGRHIs;
- A taxa de captação de água de 1 m<sup>3</sup>/t.cana para uso industrial pode ser atingida com engenharia básica (fechamento dos circuitos de água, reuso e boas práticas), aliviando muito a demanda;
- A captação abaixo deste patamar coloca o setor em uma posição mais sustentável, porém ainda é necessário P&D para se reutilizar a água contida na cana no processamento industrial;
- Uso de águas condensadas vegetais e água da vinhaça ensejam sistemas de tratamento mais sofisticados como membranas e evaporação, dentro de um conceito de Usina de Água;
- Verifica-se que as restrições legais (zoneamento, outorgas e cobrança de água) são instrumentos importantes e necessários na gestão de águas.



**Tabela 29 – Estimativa e demanda de água na indústria canavieira. (base safra 2008/2009)**

UGRHI (com cana)		Área Plantada de Cana (3)			Demanda Média da Indústria Canavieira (conforme a taxa de captação (!))			Demanda Global (2)	Demanda Média Indústria Canavieira (conforme a taxa de captação)			Oferta Mínima (3) (Q7,1)	Demanda Oferta
			%, SP	% UGRH I	2 m3/t cana	1 m3/t cana	0,5 m3/t cana		2 m3/t cana	1 m3/t cana	0,5 m3/t cana		
		ha	%	%	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	%	%	%	m³/s	%
04	Pardo	297672	6,1	33,8	3,2	1,6	0,8	20,6	15,7	7,9	3,9	30	68,9
05	Piracicaba/Capivari/ Jundiá	265808	5,5	17,5	2,9	1,4	0,7	40,8	7,1	3,6	1,8	43	95,0
08	Sapucaí/Grande	348270	7,2	38,4	3,8	1,9	0,9	25,5	14,9	7,4	3,7	28	91,3
09	Mogi-Guaçu	577510	11,9	39,4	6,3	3,1	1,5	40,2	15,7	7,8	3,9	48	83,8
10	Tietê/Sorocaba	144436	3,0	11,9	1,5	0,7	0,	17,9	8,8	4,4	2,2	22	81,7
12	Baixo Pardo/Grande	387174	8,0	55,1	4,2	2,1	1,0	12,9	32,6	16,3	8,1	21	61,9
13	Tietê/Jacaré	477009	9,8	41,3	5,2	2,6	1,3	22,6	23,0	11,5	5,7	40	56,7
14	Alto Paranapanema	66042	1,4	2,9	0,7	0,3	0,1	24,2	3,0	1,5	0,7	84	28,8
15	Turvo/Grande	414789	8,6	26,0	4,5	2,2	1,1	16,2	27,9	14,0	7,0	26	62,4
16	Tietê/Batalha	389174	8,0	29,1	4,2	2,1	1,0	9,7	43,5	21,7	10,9	31	31,6
17	Médio Paranapanema	382360	7,9	22,8	4,1	2,0	1,0	13,0	32,0	16,0	8,0	65	20,1
18	São José dos Dourados	103796	2,1	15,2	1,1	0,5	0,2	2,3	49,3	24,7	12,3	12	19,2
19	Baixo Tietê	423525	8,7	27,6	4,6	2,3	1,1	18,4	25,2	12,6	6,3	27	68,1
20	Aguapeí	305677	6,3	11,9	3,34	1,67	0,84	6,84	48,9	24,4	12,	28	24,4
21	Peixe	136992	2,8	11,1	1,50	0,75	0,37	5,28	28,4	14,2	7,1	29	18,2
22	Pontal do Paranapanema	129802	2,7	11,0	1,42	0,71	0,35	6,36	22,3	11,2	5,6	34	18,7
<b>Estado de São Paulo</b>		<b>4850043</b>	<b>100,0</b>	<b>22,1</b>	<b>53,02</b>	<b>26,51</b>	<b>13,25</b>	<b>417,26</b>	<b>12,7</b>	<b>6,4</b>	<b>3,2</b>	<b>893</b>	<b>46,7</b>

### 1.2.11 Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: diagnose e propostas de adaptação e mitigação em bacias hidrográficas nos diferentes Biomas brasileiros.

Lineu Rodrigues (Embrapa Cerrado)

Existe hoje maior consciência dos temas ligados ao meio ambiente e ao desenvolvimento social, incluindo a crescente preocupação com os efeitos negativos dos impactos ambientais e o adensamento dos mecanismos de regulação e gestão dos recursos hídricos. A expansão e mudança do perfil da demanda mundial por alimentos implicam em maiores exigências do mercado consumidor e a ampliação do mercado de produtos alimentícios certificados segundo critérios de rastreabilidade e segurança.

Este cenário leva a algumas incertezas como a preocupação de qual será a lógica predominante no contexto internacional, da evolução do agronegócio e do desenvolvimento rural sustentável. A soberania de um país está diretamente vinculada à garantia de três seguranças: alimentar, energética e territorial. Basicamente, as alimentar e energética, de bases renováveis, dependem da agricultura e de seus recursos hídricos.

As mudanças do clima poderão afetar a “geografia da produção nacional”. Com base nas projeções do relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, 2007, regiões hoje produtoras podem, em 2020, deixar de ser, com deslocamento de culturas ou mesmo redução das áreas chamadas de baixo risco de produção (MMA/PNMC, 2008).

Aliadas ao crescimento da demanda energética, as pressões socioambientais por substituição dos combustíveis fósseis e a maior preocupação com segurança energética resultarão em aumento da demanda mundial por agro energia. A Tabela 30 mostra a tendência mundial da evolução da matriz energética onde se pode observar a taxa de crescimento dos biocombustíveis é bem superior a todas as outras.

**Tabela 30 – Evolução da matriz energética mundial. Fonte: Shell Energy Scenaios 2050 (2001).**

Cenário Tendencial (Continuidade)	Composição da Matriz Energética (em part. %)				Taxa de Crescimento Anual (em % a.a.)		
	1975	2000	2025	2050	1975- 2000	2000- 2025	2025- 2050
<b>Energia primária</b> (em exajoules)	256	407	640	852	1.9%	1.8%	1.2%
<b>Petróleo</b>	46%	39%	33%	27%	1.2%	1.1%	0.3%
Carvão	27%	23%	20%	14%	1.1%	1.3%	-0.3%
Carvão CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	0%	0%	1%	2%	0.0%	0.0%	5.8%
Gás Natural	18%	23%	26%	21%	2.7%	2.4%	0.2%
Nuclear	2%	7%	5%	4%	8.1%	0.8%	-0.4%
Hidroelétrica	7%	7%	6%	5%	2.4%	1.3%	-0.3%
<b>Biocombustíveis</b>	0%	0%	1%	6%	0.0%	10.2%	10.1%
Outros Renováveis	0%	1%	8%	22%	8.7%	11.2%	5.5%

Não é possível sem o adequado entendimento dos processos, prever, dentro de uma incerteza aceitável, os impactos hidrológicos que ocorrerão devido ao aumento da produção de biocombustíveis. A extensão da alteração nos processos dependerá de características locais e regionais (Uhlenbrook, 2009), e também não se pode dissociar a segurança alimentar da segurança hídrica. O crescimento populacional demandará mais alimentos, fato que aliado às novas demandas energéticas, de bases renováveis, alterará os padrões atuais de uso dos recursos hídricos no meio agrícola.

Algumas dúvidas surgem neste contexto como por exemplo quais os processos hidrológicos serão afetados por essas alterações e em que magnitude? Ou se a água disponível nas bacias nos diversos Biomas será suficiente para manter esse novo padrão de demanda hídrica? Como e em que magnitude a qualidade de vida das comunidades rurais serão afetadas? Que estratégias de mitigação ou adaptação a essas mudanças poderiam ser elaboradas, levando-se em consideração as características de cada região?

Para responder a estas perguntas a Embrapa criou a Rede Hidro com o objetivo de gerar conhecimentos e definir estratégias técnicas para o uso eficiente do solo e da água com vistas à conservação dos recursos hídricos, a sustentabilidade e a competitividade da agricultura nos diferentes Biomas brasileiros.

Esta rede está dividida em diferentes projetos e subprojetos que contemplam: Avaliação de impactos em grandes bacias; Entendimento de processos; Base de dados primária e secundária; Modelagem; Avaliação de impactos em escala de sub-bacia.

Um destes projetos é o MP1 com o objetivo de avaliar os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, gerando conhecimentos e estratégias técnicas para o uso eficiente do solo e da água com vistas à conservação dos recursos hídricos, a sustentabilidade e a competitividade da agricultura em diferentes Biomas brasileiros. Este projeto está dividido em 7 subprojetos cada um com seu plano de ação e atividades específicas que envolvem várias unidades da Embrapa.

Como resultado deste programa a Embrapa espera desenvolver uma base de dados georeferenciada, que possibilitará estudos diversos em recursos hídricos, como, por exemplo, estudos detalhados de modelagem hidrológica; desenvolver uma rede de monitoramento de recursos hídricos, voltada para a compreensão da interação agricultura e recursos hídricos, que possibilitará a manutenção da rede AgroHidro e a condução de trabalhos de longa duração. Ou seja, trabalhos que vão além do tempo de duração do projeto; formação e capacitação de pesquisadores em modelagem hidrológica, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre as aplicações de modelos relacionadas ao funcionamento hidrológico das bacias hidrográficas; avaliação da disponibilidade de recursos hídricos em bacias hidrográficas nos diferentes biomas brasileiros e sua relação com o uso da terra; Validação de um conjunto de indicadores de qualidade e quantidade de água para serem utilizados no monitoramento e pagamento por serviços ambientais hídricos, em diferentes biomas brasileiros; identificação de questões técnico-científicas relacionadas a agricultura e as mudanças climáticas e proposição de agrotecnologias para a mitigação de impactos sobre a relação demanda/oferta hídrica, contribuindo para a conservação dos ecossistemas aquáticos; definição de cenários e análise do impacto das mudanças climáticas e da agricultura sobre a

disponibilidade dos recursos hídricos; organização da informação e do conhecimento gerado pela rede AgroHidro e por outros projetos nacionais e internacionais relevantes; propostas de adaptação, elaboradas com base nos cenários e nos resultados obtidos das simulações, visando subsidiar as políticas públicas voltadas à conservação e utilização dos recursos hídricos, associadas à melhoria da qualidade de vida de suas comunidades; disponibilização de dados a respeito das principais fontes de poluição pontuais e difusas das bacias hidrográficas a serem estudadas nos diferentes biomas brasileiros; disponibilização de um grupo de variáveis de qualidade da água que poderão ser utilizadas como referenciais nos diversos biomas brasileiros, visando a gestão e o enquadramento dos recursos hídricos, bem como o Pagamento por Serviços Ambientais; oferta de um grupo de indicadores de avaliação do impacto ambiental das produções pecuárias nos recursos hídricos (suínos, frangos de corte, bovinos de corte e de leite); proposição de metodologia, adaptada as condições brasileiras, para o cálculo da pegada hídrica das cadeias produtivas de suínos e frangos de corte; disponibilização de boas práticas para o uso eficiente da água nas criações de suínos e frangos de corte, bem como para o manejo conservacionista das terras nos diferentes biomas brasileiros.

### **1.2.12 Qual a situação atual de algumas bacias quanto a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos?**

Mara (CETEST – SP)

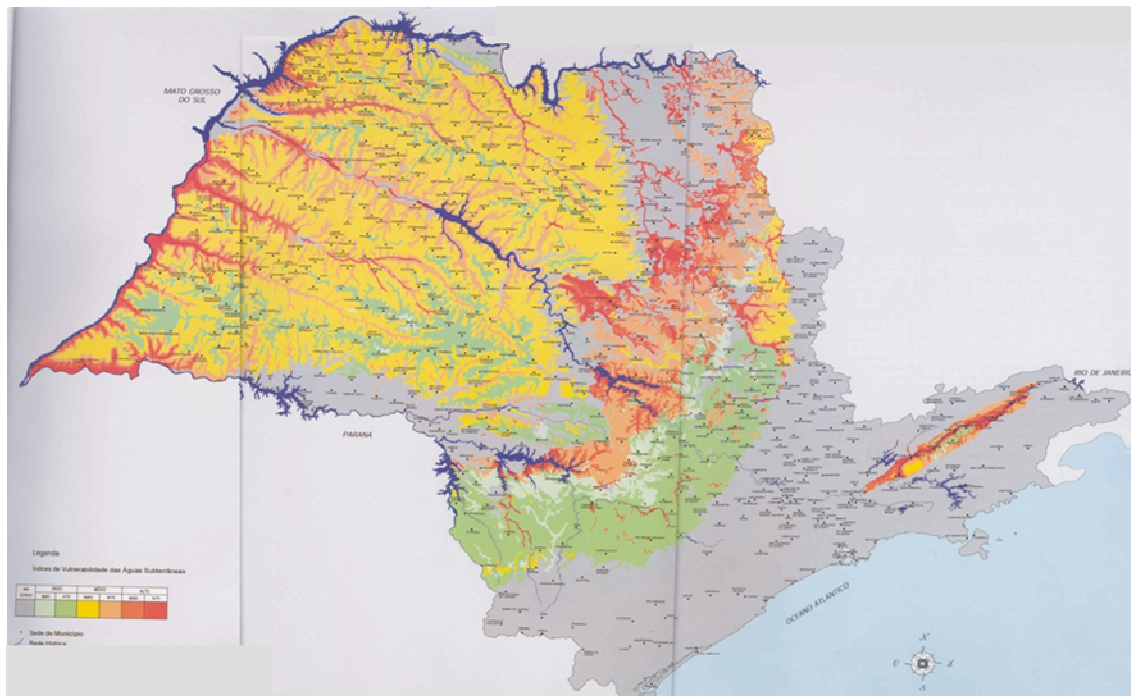
A aplicação de efluentes e resíduos sólidos em solos agrícolas para o solo e a água subterrânea são recursos naturais a serem protegidos e, portanto, a aplicação de resíduos ou efluentes no solo deve atender as condições: deve haver um benefício agrônômico (redução de insumos de outra natureza para as culturas); não deve causar degradação e contaminação dos solos e riscos a receptores ecológicos; não causa contaminação das águas subterrâneas; não causa risco a saúde humana. A utilização de uma área para simples descarte de efluentes ou resíduos sólidos não é aceitável, mesmo que na região inexistam corpos d'água receptores com capacidade para receber efluentes mesmo tratados.

Oitenta por cento dos municípios do estado de São Paulo utilizam água subterrânea para abastecimento da população o que gera uma preocupação em relação a não contaminação do lençol freático com a aplicação de resíduos agrícolas ou industriais. Na regulamentação da viabilidade de aplicação de resíduos agrícolas visando a proteção do solo e da água subterrânea alguns fatores são importantes como a características dos efluentes e resíduos; características das áreas de aplicação; a cultura; e a taxa de aplicação.

Características da área de aplicação:

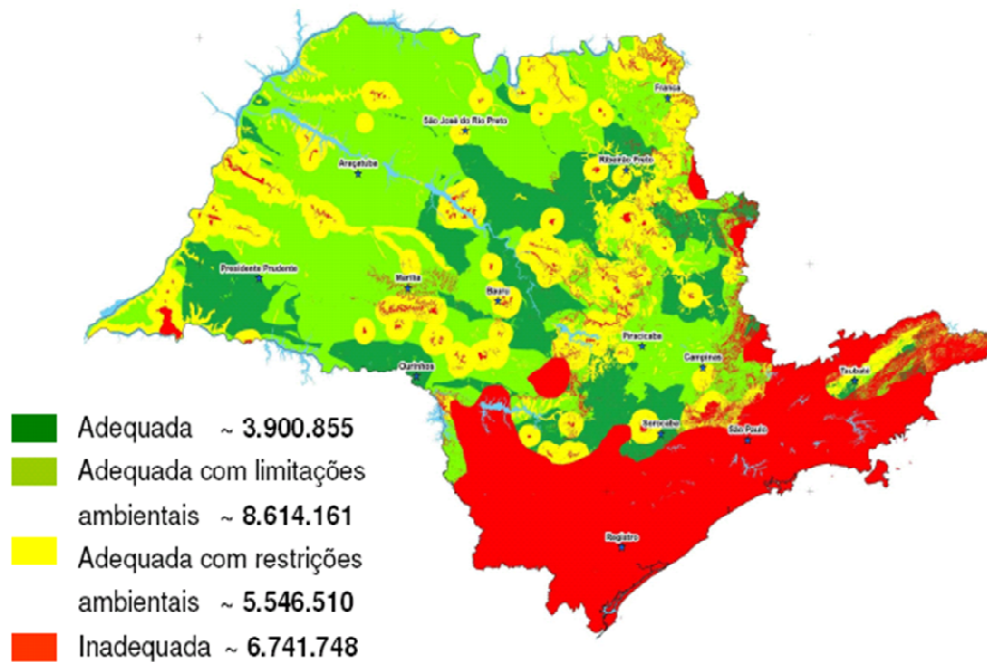
A capacidade da área de aplicação de receber aporte de resíduos e efluentes, desde que suas concentrações ao longo do tempo não prejudiquem a multifuncionalidade do solo e não contaminem a água subterrânea, está condicionada por: propriedades e qualidade do solo; vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas; contaminantes presentes no efluente e resíduo (orgânicos, inorgânicos e agentes patogênicos). A Figura 34 mostra o mapa de vulnerabilidade dos aquíferos do estado de São Paulo. Observa-se neste mapa que toda a região oeste do estado, considerada zona de expansão da cana-de-açúcar apresenta uma condição de risco médio. Por esta razão a resolução SMA-088 de 19.12.2008 - define as diretrizes

técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (Figura 35).



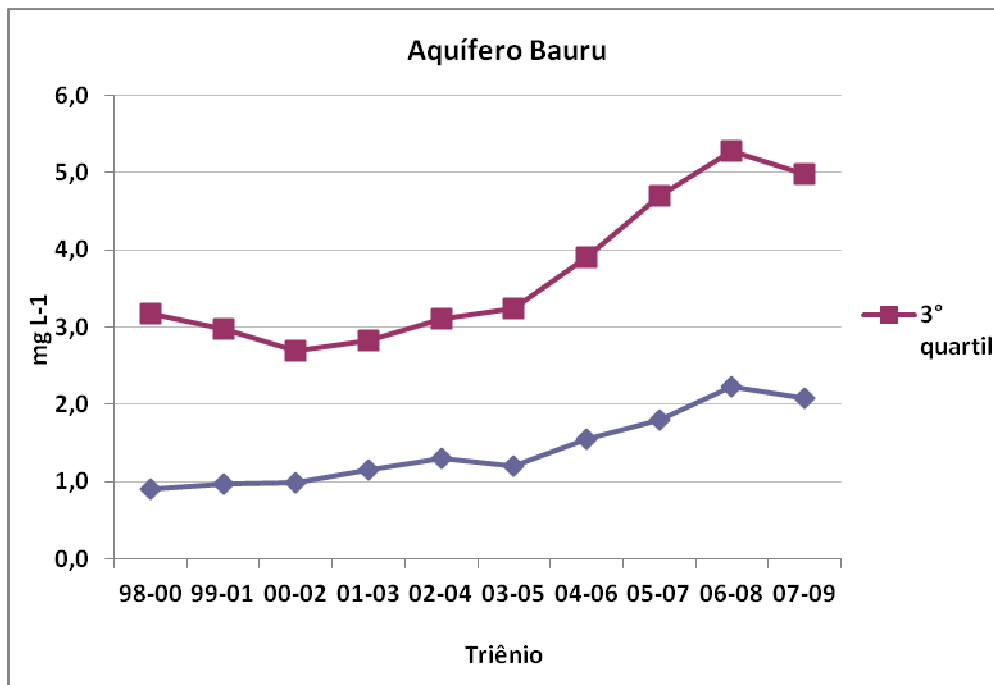
**Figura 34 - Aquíferos do Estado de São Paulo – Mapa de Vulnerabilidade - escala 1:1.000.000.**

A CETESP utiliza os valores de referência de qualidade (VRQ) como referência de qualidade nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas. Para cada um dos elementos presentes na água em cada aquífero foi estabelecido em relatório publicado em 2004-2006 os VR. A partir destes valores são estabelecidos os valores de prevenção (VP) este valor indica a qualidade de um solo que pode sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Quando a área apresenta concentrações superiores ao VP o responsável deverá realizar uma investigação de qualidade, controle das fontes de poluição, monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea e a aplicação de resíduo sólido ou efluentes deverá ser cessada e a sua continuidade dependerá de avaliação específica pela CETESB. Os valores de intervenção (VI) indicam a necessidade de intervenção de acordo com o manual "Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas".



**Figura 35 – Condições de instalação de empreendimentos do setor sucroalcooleiro suco no do estado de São Paulo.**

A CETESB mantém pontos permanentes de controle da qualidade da água em todo estado de São Paulo e tem observado que a qualidade da água subterrânea vem se deteriorando com, por exemplo, a concentração de Nitrato no aquífero Bauru.



**Figura 36 – Concentração de nitrato no aquífero Bauru de 1998 a 2009.**

**1.2.13 Com os modelos matemáticos existentes é possível prever com precisão o impacto que as alterações do uso da terra causam na demanda de água? Quais informações são necessárias para alimentar estes modelos? Dependem de experimentos de campo?**

A falta de parâmetros e de séries hidrológicas e climáticas representativas das condições locais tem dificultado a validação desses modelos, colocando em dúvida a qualidade de seus resultados. É importante ter um conhecimento claro das incertezas, que podem ser divididas em quatro categorias: incertezas naturais, as quais resultam da variabilidade aleatória dos fenômenos hidrológicos; incertezas do modelo, que são referentes as aproximações e hipóteses assumidas para representar o fenômeno físico; incertezas associada aos parâmetros; e incerteza associada as variáveis de entrada do modelo.

O sistema adotado no Brasil para a determinação dos dados que alimentam estes modelos apresenta um grau de incerteza muito grande. Faltam equipamentos de melhor precisão e automação ao processo de medição.

É fundamental primeiro definir o problema que se quer estudar, para depois escolher o modelo. Um modelo calibrado para representar a vazão, pode não representar adequadamente os outros processos. Ou seja, muitas vezes no processo de calibração os outros processos são "prejudicados". Os modelos utilizados para estudar alterações do uso do solo são os mais exigentes em termos de dados.

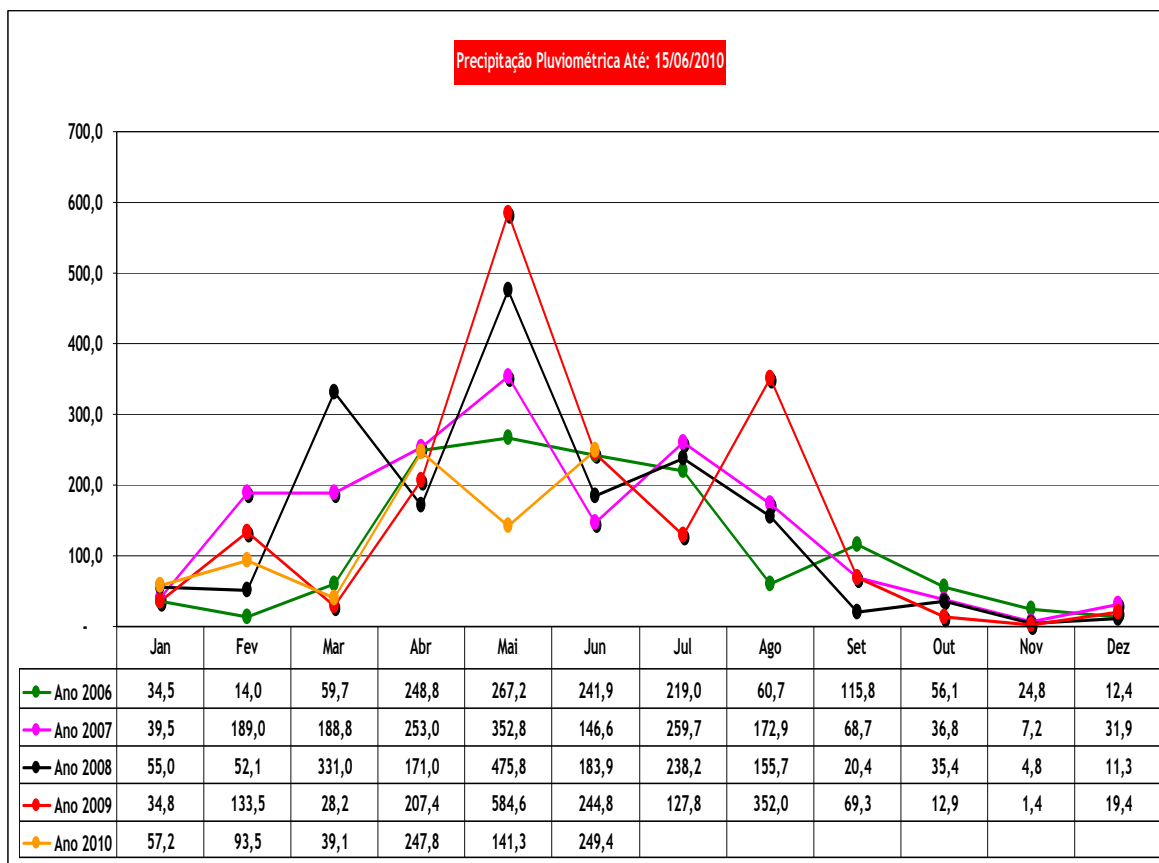
Talvez para uma análise investigatória, não seja necessário realizar ensaios de campo para se utilizar estes modelos. Mas para um trabalho mais consistente, estes são fundamentais. As informações geradas pelos modelos devem ser trabalhadas e passadas aos tomadores de decisão de forma amigável. É fundamental ter um conhecimento claro da magnitude da incerteza dos resultados.

**1.2.14 A prática agrícola de irrigação é viável de ser aplicada na região de expansão com deficiência hídrica? Quais são os benefícios (energéticos, financeiros, ambiental) da implementação desta prática?**

Pedro Carnaúba (Usina Cururipe)

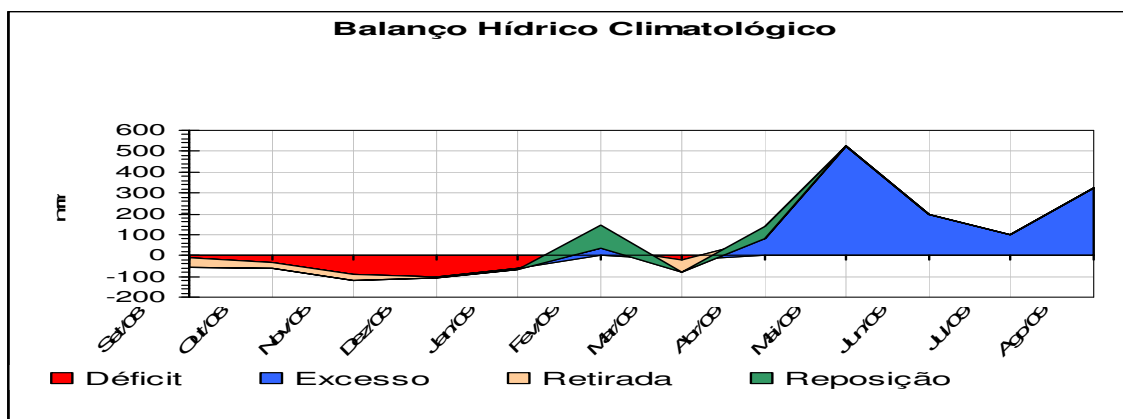
Fundada em 1925, no município de Coruripe - AL, a Usina Coruripe é uma empresa familiar, de capital fechado, integrante do Grupo Tércio Wanderley, desde 1941. É hoje a maior indústria produtora de açúcar e álcool do Norte/Nordeste com área de aproximadamente 36 mil hectares de terras próprias. Destes, 28 mil são utilizados para o cultivo da cana-de-açúcar e o restante são áreas de preservação ambiental. A Usina vem desenvolvendo a técnica de irrigação para cana de açúcar a mais de trinta anos de forma sustentável do ponto de vista ambiental e econômico, garantindo a evolução na produção da cana-de-açúcar em uma região com baixa precipitação pluviométrica anual ( Figura 37) e como consequência alta deficiência hídrica como mostra a Figura 38. Mas, é possível de se observar nesta figura que durante os meses de abril a setembro há um excedente hídrico significativo que pode compensar a deficiência hídrica se esta água pudesse ser armazenada. Como

uma iniciativa pioneira na região a Usina decidiu construir com recursos próprios e financiamento do BNDS um reservatório para garantir o abastecimento de água irrigação da lavoura de cana-de-açúcar. A represa foi construída seguindo todas as exigências ambientais de forma a garantir a preservação ambiental da região, Figura 39.



**Figura 37 - Precipitação pluviométrica mensal na região da usina Cururipe de 2006 a 2010.**





**Figura 38 – Média do balanço hídrico anual na região da Usina Cururipe.**

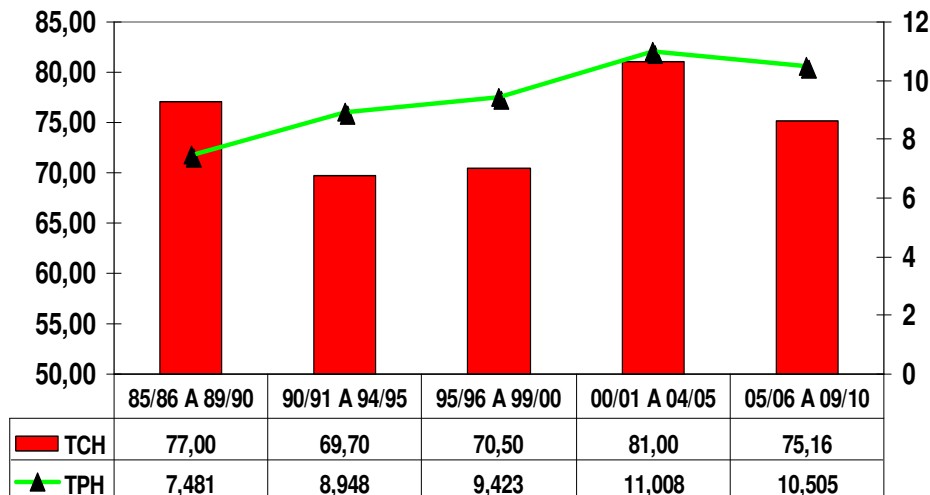


**Figura 39 – Represa construída pela Usina Cururipe no Rio Cururipe.**

Com a construção da barragem foi possível ampliar a área irrigada da usina atingindo 26 mil ha na safra 2010/2011, distribuídos da seguinte forma: 1.131,48 ha de várzea, 19.604,44 ha por carretel, 2.240,75 por pivô central e 2.195,10 ha por gotejamento.

A Figura 40 mostra que apesar do ganho obtido na produção de cana por hectare com a irrigação ser pouco significativo, o ganho com o pol da cana por hectare foi significativo passando de 8 t/ha para aproximadamente 11 t/ha. Este ganho com a qualidade da cana produzida garante o retorno do investimento e motiva a Usina a continuara investindo na tecnologia de irrigação com projeto de ampliara área irrigada para mais 3.000 ha.

### MÉDIA DOS ÚLTIMOS 25 ANOS

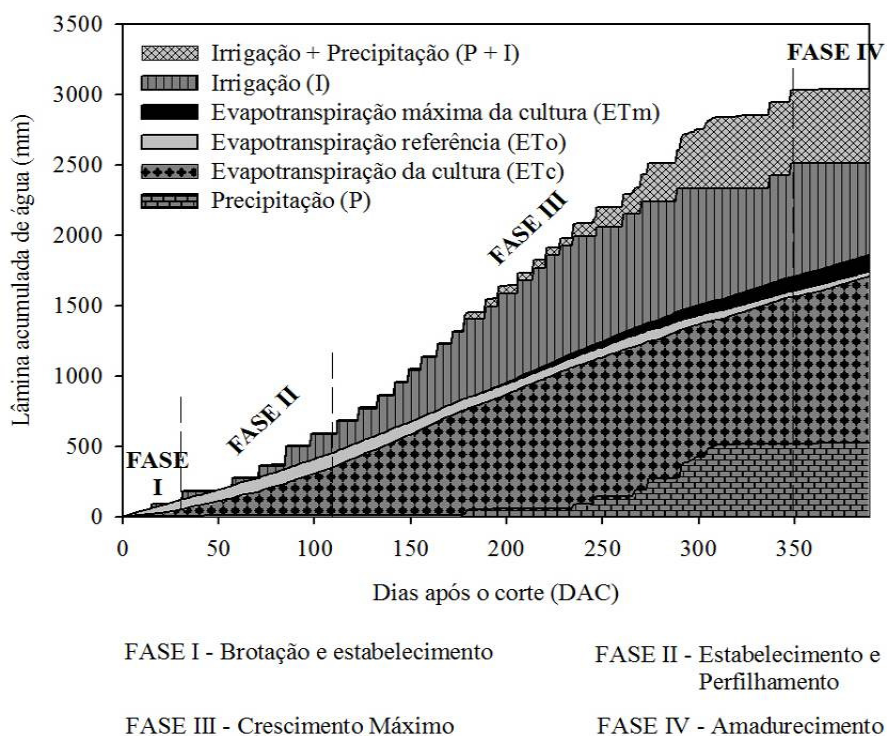


**Figura 40** Evolução da produção média da Usina Cururipe por período de 5 anos das safras de 1985/86 a 2009/2010.

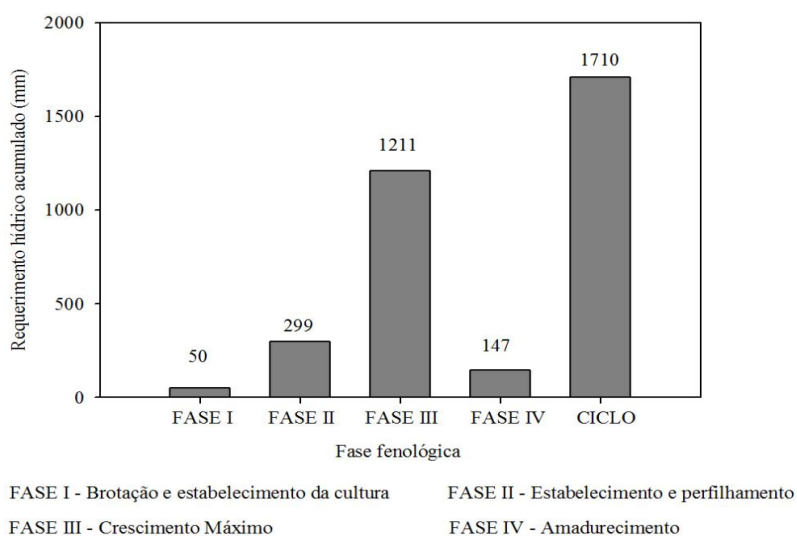
Marcelo Calgaro (Embrapa Semiárido - Petrolina - PE)

As características do Nordeste Brasileiro são pouco favoráveis a produção de cana-de-açúcar, com balanço hídrico negativo, precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h/ano, temperaturas médias anuais de 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%.

A cana é uma cultura que demanda uma quantidade significativa de água durante sua fase de produção. Como pode ser observado na Figura 41, a demanda total de lâmina de água acumulada para a cana soca chega a 3000 mm.ano<sup>-1</sup>, com um requerimento hídrico anual de 1700 mm.ano<sup>-1</sup>, Figura 42, muito superior a precipitação média anual. Portanto a irrigação destas áreas para produção da cana é necessária. Para garantir a produção e a qualidade da cana produzida na região a Embrapa semiárido tem trabalhado em vários projetos que estudam a viabilidade técnica e ambiental da irrigação nesta região, assim como tentar identificar as variedades mais tolerantes ao estresse hídrico e a salinidade.



**Figura 41 - Necessidades hídricas da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro.**



**Figura 42 - Requerimento hídrico – cana soca**

Flávio Bussmeyer Arruda (IAC – Campinas)

A prática da irrigação garante o aumento da produtividade na maioria das culturas, contudo devido ao seu alto custo, nem sempre é economicamente viável. A produtividade média da cana no mundo é de 65,7 t.ha<sup>-1</sup>, no Brasil é de 80 t.ha<sup>-1</sup>, mas em alguns países a média ultrapassa 100 t.ha<sup>-1</sup> como Peru: 109,6 t.ha<sup>-1</sup>, Egito: 119,6 t.ha<sup>-1</sup>, Etiópia: 102,4 t.ha<sup>-1</sup>. Estudos realizados pelo IAC mostram que o potencial de produtividade da cana pode chegar a 345 t.ha<sup>-1</sup>.

Ensaio realizados na região de Guaíra no estado de São Paulo, que apresenta boa distribuição de precipitação anual, mostram que a irrigação contribui de forma significativa na produção cana, podendo chegar a 230 t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 31), e obtendo uma produtividade média para quatro cortes de 180 t.ha<sup>-1</sup>, muito superior a média da região que está em torno de 90 t.ha<sup>-1</sup>, contudo estes são resultados pontuais e depende muito das condições climáticas da região. Geralmente observa-se que a irrigação complementar pode trazer benefícios a cultura e que há viabilidade técnica no primeiro estágio de desenvolvimento, considerando os benefícios diretos e indiretos.

**Tabela 31 – Resultados do ensaio de irrigação por gotejamento na Usina Colorado, região de Guaíra, SP.**

Tratamentos	AF	IAF	Produção de colmos
	m <sup>2</sup> pl <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
T1 NI	0,33 a	3,51 a	214,6 a
T2 I	0,36 ab	4,15 b	225,2 ab
T3 I v	0,36 ab	4,51 bc	231,2 b
T4 I V	0,40 b	4,75 c	223,6 ab
Erro padrão	0,02	0,15	4,46
C.V. (%)	10,44	7,79	4,46

## **1.3 Contribuição do Setor Sucroalcooleiro Para a Matriz Energética e Para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil<sup>17</sup>**

### **1.3.1 Alternativas para uso do bagaço e palha de cana no seqüestro de carbono: permanência da palha no campo, uso para geração de energia elétrica e carvoejamento da palha**

#### **Introdução**

Dos cinco grandes reservatórios de C no planeta o maior é o oceânico, com 38.000 Pg de C. O segundo é o geológico composto principalmente por reservas de combustíveis fósseis (4.130 Pg C). O terceiro reservatório é o pedológico, com aproximadamente 2.500 Pg C até 1m de profundidade, constituindo principalmente de carbono orgânico (1.550 Pg) ou matéria orgânica do solo e carvão relativamente inerte. O reservatório atmosférico com 760 Pg C-CO<sub>2</sub> é o quarto e o biótico, o menor com 560 Pg C (Lal, 2008). Portanto, a quantidade de C armazenada nos solos é duas vezes maior do que aquela da atmosfera, cujo aumento, na forma de CO<sub>2</sub>, é responsável pelo aquecimento global.

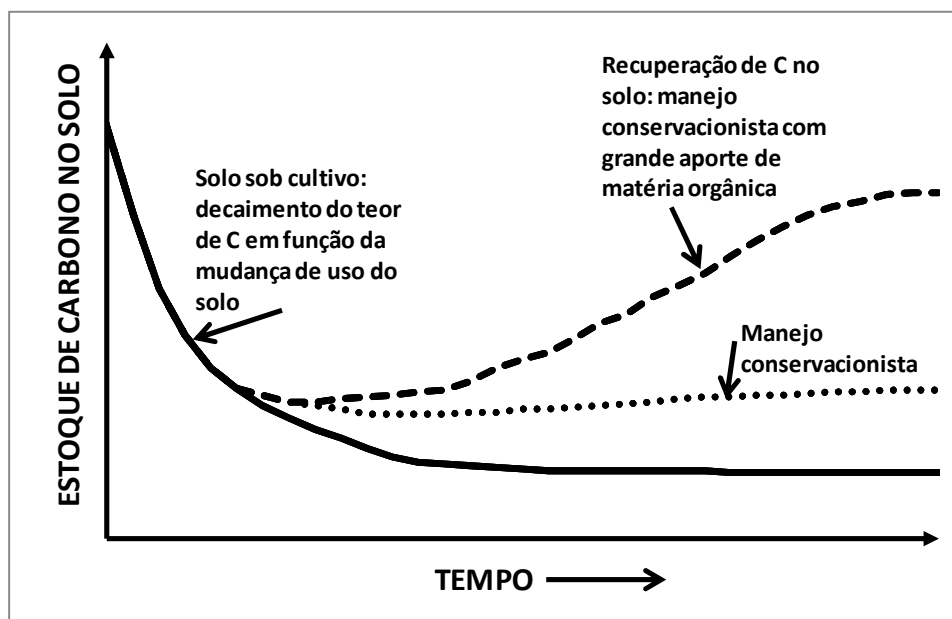
Os reservatórios de C são interligados. A maior parte do C-CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera provém do reservatório dos oceanos e, ao mesmo tempo, é absorvido por aquele reservatório (aproximadamente 90 Pg por ano). As trocas do reservatório atmosférico com os reservatórios pedológico e biótico são também importantes. Os solos podem tanto servir de fonte de CO<sub>2</sub> atmosférico (especialmente por meio da mineralização da matéria orgânica) quanto dreno, que ocorre quando restos orgânicos são incorporados ao estoque de matéria orgânica ou a fase inorgânica do C do solo.

O estoque de matéria orgânica do solo é o resultado do equilíbrio entre o aporte de material orgânico, de sua relação C/N e do clima. Este último afeta grandemente a taxa de decomposição dos resíduos. Solos cultivados geralmente têm menor estoque de C orgânico do que os mesmos solos em ecossistemas naturais - geralmente 50 a 75% do C orgânico original - devido aos efeitos das práticas agrícolas tais como aração, gradagem, cultivo etc. (Lal, 2008). A magnitude da redução do conteúdo de C orgânico depende das características do solo, do clima, do estoque inicial e das alterações de uso. A taxa de perda de C orgânico em solos sob cultivo é relativamente rápida em solos tropicais, nos quais a maior parte das perdas ocorre nos primeiros 5 a 10 anos. Em solos de clima temperado, o maior declínio no estoque de C com o cultivo ocorre nos primeiros 20 a 50 anos (Lal, 2008).

A Figura 43 ilustra o comportamento do estoque de C no solo ao longo do tempo em diferentes situações.

---

17 Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios), Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP), Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE - Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).



**Figura 43 - Esquema conceitual da alteração do estoque de C do solo em função do cultivo. Solos sob vegetação natural quando cultivado tendem a perder C. A velocidade e magnitude da perda são tanto maiores quanto maior for a alteração provocada pelo cultivo, e depende do tipo de solo e do clima. Manejos conservacionistas podem reduzir a velocidade de perda de C ou reverter parcial ou totalmente a tendência de queda do estoque de C. O sistema tende a novo equilíbrio, atingindo a capacidade máxima de estocagem de C do solo, a qual será função das características do solo, do clima e do manejo. Estes fatores também afetam o tempo necessário para que o novo ponto de equilíbrio seja atingido.**

Manejos conservacionistas tais como plantio direto, cana colhida sem despalha a fogo, e também práticas agrícolas que reduzem ou impedem a degradação, como conservação do solo, adubação e calagem adequadas, podem interromper ou até reverter a queda do estoque de C. O processo de reversão implica em sequestro de C-CO<sub>2</sub> da atmosfera no solo, uma vez que o C provém majoritariamente da fotossíntese.

O sequestro de C pelos solos é a curva inversa à da mineralização da matéria orgânica. Trata-se de um processo com aumento assintótico, que cessará quando o novo equilíbrio for atingido. Isso significa que qualquer manejo visando sequestrar C atmosférico no solo não é permanente. A taxa potencial média de sequestro de C no solo foi estimada em cerca de  $0,6 \pm 0,14 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; nesse caso, um novo equilíbrio seria atingido em 40 a 60 anos (Lal, 2004). O potencial de sequestro de C pelo solo é de 5 a 15% das emissões globais de combustíveis fósseis (Lal, 2008), ou seja, são valores importantes mas, insuficientes para mitigar uma proporção significativa dos GEE. Porém, a capacidade de provocar alterações nos estoques de C do solo – e de seqüestrar C – pode variar bastante conforme o sistema agrícola.

A matéria orgânica estabilizada do solo tem relação C:N em torno de 10:1 a 13:1. Isto significa que o seqüestro de C deve ser acompanhado do aporte de N, um nutriente limitante em muitos ecossistemas. Em estudo de longa duração em sistema plantio direto no sul do Brasil, Bayer et al. (2006) observaram que o teor de matéria orgânica no solo era maior nas áreas em que as rotações de cultura tinham plantas leguminosas – fixadoras de N atmosférico e com palhada com maior concentração deste nutriente. O acúmulo de C orgânico no solo também foi favorecido pela adubação nitrogenada (Tabela 32). A palha de cana-de-açúcar geralmente tem uma relação C:N bastante alta, entre 80:1 e 100:1, o que, em princípio, não deve favorecer a incorporação do C ao solo por falta de N.

**Tabela 32 - Acúmulo de C no solo em função do tipo de cultura no manejo, em sistema plantio direto, e da adubação nitrogenada. Resultados após 18 anos de experimentação em Argissolo, no Rio Grande do Sul (Fonte: Bayer et al., 2006).**

Sistema de manejo	Carbono no solo na profundidade	
	0-20 cm	0-30 cm
	----- t ha <sup>-1</sup> -----	
<b>Rotação</b>		
Aveia-Milho	32,4 b	47,4 b
Ervilhaca-Milho	35,5 a	53,5 a
Aveia+ervilhaca/milho+caupi	38,4 a	53,8 a
<b>Média das doses de N</b>		
0 kg ha <sup>-1</sup>	34,9 b	52,2 a
180 kg ha <sup>-1</sup>	36,0 a	50,9 a

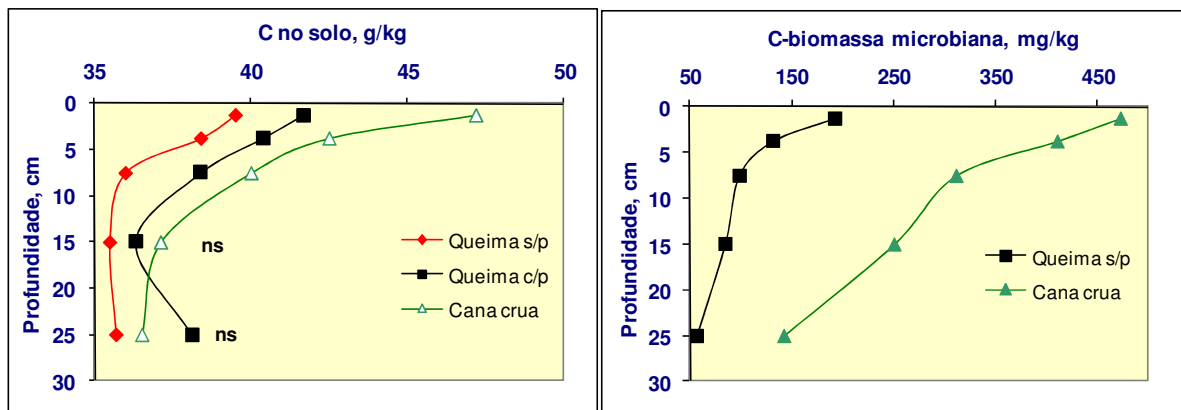
Letras comparam médias nas colunas (Tukey, P≥ 0,05)

### **C no solo x cana crua**

A cana-de-açúcar produz grande quantidade de palha. A substituição do corte da cana com da queima pelo corte mecanizado, sem despalha a fogo, resulta no aporte de grandes quantidades de material vegetal sobre o solo. Estima-se que de 8 a 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca sejam adicionadas dependendo da produtividade do corte anterior, da variedade e das condições ambientais.

Cantarella et al. (2007) revisaram a literatura internacional sobre o efeito da deposição de palha sobre propriedades do solo e aumento do teor de C. O mais antigo ensaio planejado para comparar os efeitos de cana queimada com os da cana sem queima é conduzido desde 1939 na África do Sul (Graham et al., 2000). Medições feitas após 59 anos mostraram que as alterações significativas nos teores de C e de N totais no solo ocorrem apenas na camada superficial de 0 a 10 cm (Graham et al., 1999, 2000), indicando a dificuldade de provocar aumentos no teor de matéria orgânica no solo. De fato, mesmo com o aporte de grandes quantidades anuais de palha, o teor de matéria orgânica da área de cana decresceu em relação ao pasto nativo, tomado como referência (Graham et al., 2000). Apesar das alterações relativamente pequenas nos teores totais de C e de N abaixo de 10 cm de profundidade no solo das áreas com cana sem queima, outros atributos do solo indicadores da melhoria da qualidade foram positivamente afetados pela manutenção da palhada: aumento da biomassa microbiana e respiração basal (Figura 44), aumentos nos teores de C e de N facilmente mineralizáveis e de C na fração leve (Graham et al, 2002b). Os resíduos de cana sem despalha a fogo provocaram incrementos proporcionalmente maiores no "pool" lábil de matéria orgânica do que no seu teor total (Graham et al., 2002b; van Antwerpen et al., 2002). Esses efeitos geralmente puderam ser notados na camada de solo até 20 ou 30 cm, ao contrário das alterações nos teores de C e de N totais, que se restringiram aos 10 cm superficiais (Graham et al, 2001, 2002b). Infelizmente, este experimento está instalado em um Vertissolo, com alto teor de matéria orgânica,

pouco representativo para a cultura da cana-de-açúcar até da África do Sul (6% da área). Ainda assim, os resultados são importantes.



**Figura 44 - Variação no teor de C total e C da biomassa microbiana do solo em cana queimada e cana crua após 59 anos de manejo diferenciado na África do Sul. O solo é um Vertissolo e a região recebe cerca de 950 mm de chuva por ano. Fonte: Graham et al., 1999.**

Em outro estudo, após 3 a 6 anos da presença da palhada, Robertson e Thorburn (2000) verificaram que grande parte do C da palhada foi metabolizado pelos microrganismos e perdido como CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Estimativas feitas pelos autores de possíveis ganhos de C e N no solo após longo tempo de manejo com manutenção da palhada, cerca de 20 a 30 anos, seriam: 8 a 15% de C orgânico e 9 a 24% de N total.

Ensaio conduzidos na Austrália, com duração de até 17 anos mostraram que os acúmulos de C e de N se concentram nas camadas superficiais, até 5 cm (Thorburn et al., 2000; Robertson et al., 2000). Proporcionalmente, ocorre mais acúmulo de N orgânico do que de C pois a alta relação C:N da palha limita a incorporação de C à matéria orgânica do solo (Graham et al., 2002b).

Estudos com simulações baseadas em dados experimentais de médio e longo prazo obtidos na Austrália sugerem que aumentos mais intensos nos teores de C e de N orgânico do solo devem ocorrer nos primeiros cinco anos, a partir do que os incrementos seriam menores (van Antwerpen et al., 2002).

Resultados obtidos em canaviais do estado de São Paulo apontam para acúmulos de C no solo entre 0,32 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 0,8 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com a adoção da colheita mecanizada (Carvalho, et al. 2010). O menor valor citado acima parece mais representativo pois se refere a um período de 12 anos. Além disso, a cultura de cana é renovada a cada 6 ou 7 anos, geralmente com grande movimentação do solo para o plantio, o que pode promover a oxidação de parte do C acumulado no solo em função do manejo da cana crua (Cerri et al. 2009). Nas condições do Estado de São Paulo, Brasil, Faroni et al. (2003) observaram que 40 a 50% da matéria seca da palhada permanecem no solo após um ano. A relação C/N, entretanto, diminuiu gradualmente de 85, na palha recém depositada, para 34, após um ano. Oliveira et al (1999) obtiveram taxas de decomposição da palhada após um ano de 20 a 70%. Em outro estudo conduzido no Brasil, Canellas et al. (2003) reportaram aumentos dos teores de C (de 13 para 23 g/kg) e de N (de 1,5 para 2,2 g/kg) até 20 cm de profundidade, após 55 anos de cana crua em um Cambissolo eutrófico, no estado do Rio de Janeiro. Porém, as áreas apresentavam



diferenças de textura do solo e não há dados que permitam avaliar a uniformidade original dos solos amostrados.

### **Outros efeitos da manutenção da palha**

Muitos efeitos agronômicos da presença da palha sobre o solo são conhecidos, tais como o controle da erosão, a redução da evapotranspiração e a elevação da umidade do solo. A substituição da queimada também evita a emissão de 6,5 kg ha<sup>-1</sup> de CH<sub>4</sub> o que representa deixar de emitir aproximadamente 0,2 t ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> equivalente (Macedo et al. 1998), além de quantidades não determinadas de outros gases de efeito estufa.

A cobertura com palha tem efeitos também sobre propriedades físicas do solo que interferem, indiretamente, com o manejo do N. Graham et al. (2002b) constataram o aumento da atividade microbiana e o acúmulo superficial de matéria orgânica provocando aumentos na estabilidade de agregado, infiltração de água e ciclagem de nutrientes, melhorando o estado geral de conservação do solo. Efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo foram observados também por Thorburn et al. (2002) na Austrália e por Souza et al. (2005) no estado de São Paulo; após 3 anos de colheita sem queima da palha, houve aumento significativo no diâmetro médio dos poros e diminuição na resistência à penetração (Souza et al., 2005), principalmente quando a palha foi incorporada ao solo.

Há dúvidas se a manutenção da palha afeta a produtividade em comparação com o sistema com queima. Os efeitos sobre a produtividade são complexos pois envolvem fatores como adaptação de variedades, brotação da soqueira sob a palhada, pressão de pragas e doenças, disponibilidade de água, além da nutrição com nitrogênio. Orlando Filho et al. (1994) relataram que a presença de palha provocou redução acentuada na produção de colmos, mas, o problema parecia estar relacionado à variedade usada. Gava et al., (2001b) e Basanta et al. (2003) também relataram produções menores em áreas de cana sem despalha a fogo em relação à cana queimada, em solos argilosos. No caso do ensaio de Gava et al. (2001b) a razão pode ter sido o excesso de chuvas no verão e a imobilização do N pela palha. Por outro lado, em solo arenosos (Trivelin et al., 2002a, b) não encontraram diferenças em produtividade de colmos em áreas com ou sem queima. Em alguns estudos, os rendimentos não foram afetados após três anos de adoção da colheita sem queima (Souza et al., 2005), ou após 15 anos (Thorburn et al., 1999), ao passo que Oliveira et al. (1994) e Urquiaga et al. (1995) conseguiram maiores produtividades em cana sem queima na maioria dos nove ciclos avaliados. Wood (1991) observou maiores produções de colmos (+10 t/ha) na média de cinco ensaios em solos bem drenados, mas não houve diferença nos locais mal drenados. Os rendimentos de colmo em áreas sem queima também têm sido superiores no ensaio de longa duração da África do Sul (Graham et al., 2000), com incremento médio de 9,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (em 39 colheitas) comparando os tratamentos sem queima e com queima e remoção da palhada residual; porém, a diferença quando a comparação foi feita com os tratamentos com queima mas manutenção da palhada restante, a diferença média foi de apenas 3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Graham et al., 2000).

Todos os programas de melhoramento genético em atuação no Brasil atualmente testam as variedades quanto à brotação sob palha. Portanto, é possível que a redução do rendimento de colmos em áreas com palha devido à problemas de brotação seja resolvido em curto espaço de tempo.

Para as condições da Austrália, um modelo de simulação para 35 anos aponta que 86% do N da palha que seria perdido por queima estaria estocado na matéria orgânica do solo ou seria exportado com os colmos colhidos (Thorburn et al., 2001a). O S é um elemento que também tende a ser conservado em sistemas de colheita sem queima, levando, portanto, a um aumento gradual na fertilidade do solo.

A médio e longo prazo, o solo pode acumular C e N orgânico quando a cana é manejada sem despalha a fogo, mas, em curto prazo, o aporte de resíduos com alta relação C:N pode fazer aumentar a demanda por N mineral. Além disso, a menor evaporação de água devido à cobertura de palha pode favorecer perdas por lixiviação e por desnitrificação (Weir et al., 1998), embora os modelos de simulação sugiram que a desnitrificação pode não ser afetada pela presença de palha devido ao aumento da imobilização do N pelo C da palha, compensando o excesso de água (Thorburn et al., 1999).

A demanda de N em cana colhida sem despalha também pode ser maior devido ao aumento da produção de colmos em função da maior disponibilidade hídrica (van Antwerpen et al., 2002). Thorburn et al. (2002) prevêem, em seu modelo, que a dose de N em cana manejada sem queima deve ser 60 kg/ha de N superior à de cana queimada para se beneficiar da água adicional. Os autores previram que a resposta a N se estabilizaria apenas após 30 a 40 anos. Esses números devem ser vistos com cuidado no Brasil pois a região onde os dados foram coletados tem precipitação pluvial de apenas 950 mm/ano. Por outro lado, Meier et al., (2002) prevêem que será possível reduzir a adubação nitrogenada em até 40 kg/ha de N em locais há muitos anos com cana sem despalha a fogo, quando o sistema tiver atingido um novo equilíbrio, com acúmulo de N orgânico no solo.

### **Palha: manutenção da qualidade do solo X produção de energia**

A produção de energia a partir de biomassa tem despertado o interesse no uso de resíduos agrícolas que atualmente são deixados no solo. Portanto, é preciso conciliar a necessidade de manutenção da qualidade do solo e a demanda por matéria prima para energia.

A quantidade de resíduos que precisa ser mantida no solo é muito variável e depende do clima, tipo de solo, manejo da cultura, entre outros fatores.

Recentemente Tarkalson et al (2009) estimaram que, para o trigo em clima temperado, a quantidade mínima de palha a ser deixada para a manutenção da matéria orgânica do solo era equivalente a 1.5 t ha<sup>-1</sup> de C, que corresponde a um valor médio de 3,1 t ha<sup>-1</sup> de grãos. Os autores estimaram que, em áreas irrigadas, com altas produtividades, o C deixado pelo sistema radicular pode ser suficiente para manter a matéria orgânica do solo, pois cerca de 25 a 50% do C total presente na biomassa de alguns cereais encontram-se nas raízes. Para a cana-de-açúcar estima-se que em média 0,8 a 2 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca são acrescentadas anualmente pelas raízes.

Em regiões tropicais os aportes de C para a manutenção do teor de matéria orgânica do solo devem ser maiores, especialmente nas regiões mais quentes e úmidas, nas quais há dificuldade de produzir resíduos no inverno. Dados

preliminares obtidos por Sá<sup>18</sup> indicam que em áreas do centro norte do Brasil o ponto de equilíbrio pode necessitar de até 4 t ha<sup>-1</sup> de C por ano.

Os resultados de pesquisa apresentados acima apontam que, apesar das grandes quantidades de palha de cana deixadas sobre o solo, as alterações no teor de matéria orgânica são relativamente pequenas e lentas, ou seja, parte significativa da palha é decomposta, fazendo retornar o C para a atmosfera.

Um ponto importante a ser considerado é que a capacidade do solo de reter C orgânico é dependente das características do solo, das condições climáticas e do manejo (Figura 44). Isto significa que há um potencial máximo para o aumento do teor de matéria orgânica (e de carbono) no solo e que, uma vez atingido este ponto de equilíbrio, aportes extras de resíduos orgânicos não trarão benefícios adicionais. A palha excedente, mesmo do ponto de vista unicamente do interesse agrícola e ambiental, pode ser removida e utilizada para outros fins. Há poucos dados no Brasil sobre as quantidades de palha que podem ser retiradas do campo sem afetar drasticamente a fertilidade do solo e a produtividade do canavial, destacando-se os estudos realizados pelo CTC. Estes apontam que a manutenção de cerca de 40% da palha são suficientes para manter a qualidade do solo. Esses números provavelmente poderão variar dependendo da região, condição climática e tipo de solo. Há pesquisas em andamento no Brasil procurando detalhar as quantidades de palha que podem ser usadas para a produção de energia. No presente, os números obtidos pelo CTC servem de referência.

### **Uso do bagaço e da palha para geração de energia elétrica**

As usinas de cana de açúcar para produção de etanol e/ou açúcar são tradicionais geradoras de formas de energias demandadas pelo processo produtivo: térmica (vapor de processo), mecânica (acionamento dos equipamentos pesados) e elétrica (acionamentos de equipamentos, iluminação, outros). Desde os meados dos anos 1990's que a quase totalidade das usinas atingiram a autossuficiência energética utilizando apenas o bagaço, produzido na usina, como combustível. Este equilíbrio energético foi alcançado com uma condição de vapor gerado nas caldeiras de bagaço de 20 bar/300 C (LEAL E MACEDO, 2004), condição esta em que o sistema de cogeração fornece toda energia eletro-mecânica via turbinas a vapor, sendo o vapor na saída destas turbinas, na pressão em torno de 2,5 bar, enviado para o processo para fornecer a energia térmica necessária; tudo isso de uma forma em que não havia energia excedente e a sobra de bagaço era mínima para enfrentar emergências (5 a 10%).

Como as usinas eram indústrias de alimento que produziam etanol como um importante co-produto, não havia preocupação em gerar excedentes significativos de energia elétrica para a venda a terceiros nem em maximizar a eficiência energética. Todavia, esta situação começou a mudar no final do século passado quando o novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro criou condições para viabilizar economicamente a geração e venda de energia elétrica.

As usinas mais progressistas e de visão empresarial mais aberta passaram a enxergar a eletricidade como um terceiro produto para melhorar a estabilidade e economicidade do negócio; estas usinas, quando chegava a hora de trocar as

---

18 Sá, J.C. 2010. Informe pessoal.

caldeiras no fim da vida útil, optaram por instalar caldeiras de alta pressão, inicialmente na faixa de 42 bar e depois subindo para acima de 60 bar, sendo esta condição de fato o novo padrão atual. Os novos grupos que entraram no setor depois do boom na produção e uso do etanol já vieram com uma visão mais voltada para energia do que para alimento; assim, o etanol e a energia elétrica tornaram-se os produtos principais para eles. Mesmo assim, o bagaço continua como o único combustível utilizado; com o crescimento da colheita mecanizada sem queima da palha, esta passou a ficar disponível no campo, mas ainda sem uso energético. Com a assinatura dos Protocolos Ambientais nos estados de São Paulo e Minas Gerais, responsáveis por dois terços da cana produzida no país, o crescimento do corte mecanizado de cana sem queimar foi acelerado, sendo razoável esperar que em 2014 pelo menos 80% da cana seja colhida sem queima nestes dois estados, com este percentual subindo para 100% em 2017.

Outros estados seguirão esta tendência, em ritmo mais lento, pressionados pela lei federal que obriga o fim das queimadas em canaviais em área mecanizáveis já em 2018. Em suma, nos próximos cinco a dez anos vai haver um aumento considerável da disponibilidade de biomassa da cana com a palha deixada no campo podendo ser trazida, em parte, para a usina como combustível adicional ao bagaço (conforme discutido acima é interessante que uma parte desta palha permaneça no campo por seus benefícios agrônômicos). Veremos, a seguir, algumas alternativas para se aproveitar melhor os resíduos da cana de açúcar e seus impactos nos balanços de energia e de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no ciclo de vida da produção e uso do etanol no Brasil.

### Balanços energéticos

Primeiramente, é importante se conhecer qual é o potencial desta gramínea na forma de energia primária no campo, antes da colheita. Como existe uma variabilidade muito grande nas características da cana, dependendo do solo, clima, variedade, estágio de corte e outros, será assumida uma cana média em termos de qualidade e produtividade a fim de que se possa fazer as comparações entre alternativas.

Produtividade: 70 toneladas de cana (colmos) (tc)/hectare/ano e 85 tc/ha colhido

Fibra: 13%, base úmida (bu)

Pol: 14%, base úmida (bu) e mais 0,6% de açúcares redutores totais (ART)

Palha: 140 kg de fibra seca/ tc (colmos)

Nestas condições, a energia primária da cana no campo é a mostrada na Tabela 33.

**Tabela 33 - Energia primária da cana no campo por tonelada de colmo limpo**

<b>Componente</b>	<b>Energia (MJ)</b>
146 kg de açúcares	2 400
130 kg de fibra no colmo	2 300
140 kg de fibra na palha	2 500
<b>Total</b>	<b>7 200 (1,2 boe)</b>

Nota: boe – barril de óleo equivalente

Fonte: O autor

Nestas condições, um hectare produziria 610 GJ de energia primária, no caso de área colhida, correspondendo a 504 GJ/ha de área plantada. Considerando que de uma tonelada de cana se pode produzir, na média brasileira, 82 litros de etanol (1920 MJ) e 60 kWh de energia excedente (210 MJ) isto representa um total de 2130 MJ de energia final útil, ou seja, 30% de aproveitamento da energia primária da cana. Este baixo índice de aproveitamento estimula a busca de alternativas para melhorar esta eficiência de conversão e algumas alternativas serão apresentadas a seguir.

As seguintes alternativas tecnológicas serão avaliadas utilizando-se os resultados e balanços apresentados por Seabra (2008) para possibilitar uma comparação consolidada (para mais detalhes, ver referência). Uma hipótese adicional de Seabra é se considerar o recolhimento e uso de 40% da palha disponível no canavial (56 kg/tc, base seca) para fins energéticos.

**Tecnologia Atual:** Turbogenerador (TG) de contrapressão (CP), vapor a 22 bar/300 C e uso só do bagaço.

**Tecnologia Futura I:** Turbogenerador de condensação/extração (CEST – Condensing/Extraction turbine generator), vapor a 90 bar/520 C e uso só do bagaço.

**Tecnologia Futura II:** CEST, vapor a 90 bar/520 C e uso do bagaço e palha.

**Tecnologia Futura III:** Gaseificação da biomassa/ciclo combinado (BIG/CC – Biomass Integrated Gasification/Combined Cycle) e uso do bagaço e palha.

**Tecnologia Futura IV:** CP, vapor a 65 bar/480 C, produção de etanol por hidrólise e uso do bagaço e palha.

O consumo de vapor de processo foi considerado como 500 kg/tc na Tecnologia Atual e 340 kg/tc nas Tecnologias Futuras. A produção das várias formas de energias finais ou úteis (etanol e energia elétrica) para as várias alternativas está resumida na

Tabela 34 (Seabra, 2008).

**Tabela 34 - Produção de energia final nas várias alternativas**

	Hoje	Futura I	Futura II	Futura III	Futura IV
Condição do Vapor					
Pressão (bar)	22	90	90	90	65
Temperatura (°C)	300	520	520	520	480
Processo (kg/tc)	500	340	340	340	340
Tecnologia	CP	CEST	CEST	BIG/CC	CP/Hidról.
Bagaço (% total)	95	100	100	100	100
Palha (% total)	0	0	40	40	40
Produção etanol (L/tc)	82	82	82	82	119
EE excedente (kWh/tc)	5	81	145	194	44

Fonte: Seabra, 2008

É importante que se diga que as tecnologias de hidrólise para produzir etanol de material lignocelulósico e a de gaseificação de biomassa para geração de energia elétrica (ambas de segunda geração) ainda não estão comerciais e, portanto, os dados apresentados são expectativas de desempenho destas tecnologias quando atingirem a maturidade comercial, provavelmente em torno de 2020. As rotas de recolhimento, processamento e estocagem de palha ainda estão em fase de teste para serem otimizadas e consolidadas, antes que se possa partir realmente para seu uso comercial; o uso final da palha em caldeiras a bagaço também precisa de testes extensivos devido ao potencial de formação de depósitos e corrosão nos tubos da caldeira devido aos teores de álcalis e cloro mais elevados, em relação ao bagaço.

Pode se notar da

Tabela 34 que o uso de parte (40%) da palha disponível possibilita um aumento significativo da geração de energia elétrica excedente com tecnologias já plenamente comerciais (CEST); este uso da palha e do CEST permite também a geração de eletricidade ao longo de todo o ano e não apenas na safra. Já a hidrólise para etanol, quando atingir o estágio comercial, vai permitir o aumento de 45% (37 litros de etanol/tc a mais) do etanol produzido na mesma área plantada; porém, a produção de eletricidade excedente ficaria em torno da metade do que seria possível hoje com apenas o bagaço.

Os impactos do uso da palha e das tecnologias estado da arte e em desenvolvimento em termos de balanço energético e de GEE estão resumidos na Tabela 35, utilizando-se os dados e hipótese indicados acima.

**Tabela 35 - Balanço de energia e de GEE para as alternativas de uso da biomassa da cana**

	Hoje	Futuro I	Futuro II	Futuro III	Futuro IV
Produção etanol (L/ tc)	82	82	82	82	119
EE excedente (kWh/ tc)	5	81	145	194	44
Energia dos produtos (PCS)					
Etanol (MJ/tc)	1919	1919	1919	1919	2785
EE excedente (MJ/tc)	18	292	522	698	158
Bagaço excedente (MJ/tc)	124	0	0	0	0
Total (MJ/tc)	2061	2211	2441	2617	2943
% energia primária da cana	28,6	30,7	33,9	36,3	40,9
GEE evitado (kgCO <sub>2</sub> /tc)					
Etanol	173	173	173	173	251
EE média mundial	3	47	84	112	25
EE média Brasil	1	22	38	52	12
Bagaço	12	0	0	0	0
Total (média Brasil)	186	195	211	225	263

Fonte: Seabra, 2008; Macedo e Seabra, 2008

Dos resultados apresentados na Tabela 35 podem ser feitas algumas observações importantes:

- Mesmo com o uso de 40% da palha complementando o bagaço, os ganhos de eficiência na conversão da energia primária da cana em formas úteis ainda são modestos com o uso das tecnologias hoje disponíveis (de 29% para 34%);
- As tecnologias em desenvolvimento irão permitir melhorias mais significativas nesta eficiência (de 29% para 41%, no caso da hidrólise);
- As mesmas conclusões também são válidas para os potenciais de redução de emissões de GEE.



- Tanto sob o aspecto de eficiência energética como redução de emissões, a conversão da biomassa da cana em etanol (hidrólise) é claramente mais vantajosa do que a geração de energia elétrica excedente.

Todavia, a decisão de que tecnologia usar é normalmente baseada em critérios econômicos e não energéticos. Por isso, é importante se ter uma avaliação econômica aproximada das alternativas estudadas; devido às dificuldades de se fazer uma análise mais detalhada, serão indicados apenas os impactos no faturamento total da destilaria, medido como R\$/tc, que estão mostrados na Tabela 36, considerando o etanol vendido a R\$ 0,80/litro e a eletricidade a R\$ 140,00/MWh, sem impostos.

**Tabela 36 - Impactos das tecnologias no faturamento da destilaria**

	Hoje	Futura I	Futura II	Futura III	Futura IV
Produção etanol (L/tc)	82	82	82	82	119
EE excedente (kWh/tc)	5	81	145	194	44
Redução de emissões GEE (kg CO <sub>2</sub> eq./tc)	186	195	211	225	263
Faturamento sem CER (R\$/tc)	66,30	76,94	85,90	92,76	101,36
Faturamento com CER (R\$/tc)	71,32	82,21	91,60	98,00	108,46

Fonte: Autor

Nota: Etanol a R\$ 0,80/litro, EE a R\$ 140,00/MWh e CER a R\$ 27,00/t CO<sub>2</sub>eq.

Há um aumento significativo no faturamento da destilaria com o uso de tecnologias mais avançadas e, nos preços atuais, o etanol de hidrólise tem um impacto bem maior que a tecnologia de segunda geração para eletricidade (BIG/GT). É importante lembrar que se trata apenas de faturamento e não de lucro, que, se considerado, poderia implicar em outras conclusões.

### **Gargalos tecnológicos**

As tecnologias de primeira geração disponíveis (etanol de açúcares e EE de CEST) já estão sendo implementadas, a menos do uso da palha. Esta também será fundamental na viabilidade técnico-econômica da segunda geração. Portanto é importante entendermos que ainda existem entraves tecnológicos que precisam ser resolvidos antes de sua plena utilização como sugerido acima:

- Detalhamento e otimização das rotas de recolhimento de palha;
- Maior conhecimento dos impactos agrônômicos da palha no campo: reciclo de nutrientes, efeito herbicida, proteção contra erosão, impactos nas operações agrícolas, efeito na produtividade, etc.;
- Conhecimento dos mecanismos de decomposição da palha;

- Melhor quantificação do potencial (variedades, ambiente de produção, manejo, etc.);
- Controle de pragas;
- Otimização da quantidade a ser recolhida;
- Processamento, armazenamento e uso nas caldeiras a bagaço;
- Importância da palha para o plantio direto da cana de açúcar;
- Efeito da palha na dinâmica de carbono no solo e emissões de N<sub>2</sub>O e metano.

Resta, portanto, um caminho longo ainda a ser trilhado antes que se possa usufruir dos benefícios antevistos acima com o uso da palha nas usinas e destilarias.

### **Carvão**

Uma alternativa para mitigar o efeito estufa por meio da estocagem de C no solo por longos prazos é a aplicação de carvão (biocharcoal), oriundo da carbonização sob baixo O<sub>2</sub> de resíduos vegetais. Neste caso, o C é bastante estável e pode permanecer no solo por décadas ou até centenas de anos. Para o carvão, o limite de estocagem de C discutido acima não se aplica. Na verdade, a adição de carvão pode até aumentar aquele limite para a retenção de C orgânico no solo. A viabilidade de tal prática depende principalmente da economicidade do uso do carvão – as doses necessárias para provocar benefícios no solo do ponto de vista agrícola são da ordem de dezenas de toneladas por hectare – e do balanço ambiental. A produção de biocharcoal libera GEE, cuja avaliação precisa também ser contabilizada.

Em muitos ecossistemas onde queimadas ocasionais ou frequentes fazem parte do manejo do ciclo natural, o carvão é um componente do solo. Nos solos de floresta de Sierra Nevada California, EUA, o conteúdo de carvão na camada de 6cm superficiais de solos minerais varia de 1000 a 5000 kg ha<sup>-1</sup>. (MacKenzie et al., 2008). O carvão, embora não se constitua em substrato facilmente oxidável por organismos heterotróficos da flora microbiana do solo, pode ter um papel importante na matéria orgânica do solo, pois afeta a formação e estabilização do humus e deste modo, afeta vários processos microbianos. Compostos polifenólicos podem ser adsorvidos ao carvão, que, deste modo, contribui para o sequestro de quantidades adicionais de C no solo (MacKenzie & De Luca, 2006).

O carvão é uma fonte de C altamente resistente no solo, que pode não só afetar a fertilidade do solo, mas, eventualmente ser contabilizado para fins de obtenção de créditos de carbono. Porém o carvão não pode ser considerado uma forma inerte de C e há firmes evidências de que este material também é mineralizado no solo e não se constitui em um dreno permanente de CO<sub>2</sub> atmosférico (Glaser et al. 2002). A oxidação do carvão pode ocorrer por processos abióticos ou bióticos embora o primeiro é extremamente lento nas condições normais de temperatura do solo. O papel da flora microbiana na decomposição do carvão não está bem estabelecido, mas há vários relatos de que os solos com maior atividade microbiana liberam mais C do carvão. O processo é normalmente lento e ocorre com a gradual oxidação de estruturas aromáticas na superfície do material. Essas reações resultam em grupos

carboxílicos os quais são responsáveis pela formação de complexos organo minerais e aumento da capacidade de troca de cátions do solo. (Glaser et al. 2002).

Embora sujeito a mineralização, grande parte do C do carvão pode permanecer no solo por milhares de anos, especialmente quando estabilizado junto com a matéria orgânica do solo. Já vários relatos nesse sentido, com datação de C, inclusive nas terras pretas da Amazônia Brasileira (Glaser, et al. 2002).

Desse modo o carvão adicionado ao solo pode contribuir para mitigar o efeito estufa por seqüestrar C por longos períodos de tempo, além de melhorar várias características de solos agrícolas. O carvão ajuda a aumentar o teor de matéria orgânica, a CTC, a retenção de água e de nutrientes, reduzindo perdas e a estabilidade dos solos, ajudando a controlar processos erosivos. Porém, aparentemente, a adição de carvão não ajuda a reduzir a emissão de N<sub>2</sub>O proveniente de N adicionado ao solo (Clough et al. 2010). A extensão e magnitude desses efeitos dependem da matéria prima e do modo de produção do carvão (Glaser et al. 2002).

Solos cultivados com cana-de-açúcar são potenciais locais de aplicação de carvão pirolisado pois essa cultura gera grandes quantidades de resíduos carbonáceos que podem ser usados para a produção de carvão. Isso pode ajudar o balanço ambiental da indústria de biocombustíveis e melhorar a produtividade dos solos agrícolas, especialmente os mais arenosos e de fertilidade marginal. Porém, efeitos significativos da aplicação de carvão somente são observados com aplicações de altas doses do produto, geralmente superiores a 10 t ha<sup>-1</sup>. Assim, a viabilidade técnica e econômica do uso de carvão em cana-de-açúcar ainda está por ser comprovada. Avaliações dos efeitos agrônômicos de longo prazo ainda devem ser realizadas bem como os custos de produção e aplicação desse material. Um fator importante é que o carvão destinado ao solo deixa de gerar energia, a qual pode ter outros usos em um valor associado, podendo ser relevante para uma indústria que produz bioenergia.

### **1.3.2 Novas opções de fertilizantes e impactos gerados pelos insumos na área de fertilidade do solo e adubação para a cultura da cana-de-açúcar**

#### **Comentários adicionais sobre dados do primeiro relatório**

No primeiro relatório foi traçado um perfil da disponibilidade e fornecimento de matérias primas para a produção de fertilizantes no Brasil e no mundo. Ficou claro que as reservas mundiais devem ser suficientes para atender a agricultura por muitas décadas, mas, a posição do Brasil é sensível devido à grande dependência de importação de insumos e de fertilizantes prontos (aproximadamente 70% do N, 50% do P e 90% do K).

Nos últimos meses o Governo Federal tem feito pressões para que empresas brasileiras ou estrangeiras do setor de fertilizantes aumentem a produção interna de fertilizantes. Houve importantes novidades nesse período. A Petrobrás, que tem capital do Governo Federal, decidiu construir duas fábricas de NH<sub>3</sub>. A Petrobrás também está sendo pressionada a explorar K na Amazônia. Até 20 poços serão perfurados durante o próximo ano em Autazes e Itapiranga, ao custo de US\$ 25 milhões.

A região havia sido explorada pela Petrobras, que identificou a existência de 1,1 bilhão de t de minério na mina de Fazendinha, no município de Nova Olinda do Norte, mas abandonou o projeto na década de 70 (O Estado de São Paulo, 8/11/2009). Não se sabe se o projeto será concretizado devido às dificuldades técnicas e logísticas.

A Vale, maior mineradora brasileira, entrou no setor de fertilizantes, adquirindo participação acionária importante em diversas empresas com direito de lavra de fósforo. A Vale pode explorar K na Amazônia, mas, esta empresa adquiriu direito de lavra em duas regiões na Argentina: Neuquen e Rio Colorado (Lopes et al. 2009). Essas minas aparentemente são de exploração mais fácil.

O Governo Brasileiro tem pressionado as empresas a aumentar a oferta de fertilizantes fosfatados utilizando matéria prima nacional uma vez que há várias jazidas em condições de ser exploradas. A estratégia é reduzir a dependência externa. Porém, as reservas de P, em nível mundial, são as mais limitadas entre os três principais macronutrientes (NPK). Há muitas dúvidas sobre os números reais das reservas mundiais de P (Gilbert, 2009). Recentemente os EUA e Marrocos – detentor das maiores reservas mundiais – assinaram um acordo de livre comércio que cobre rochas fosfatadas, além de outras comódities (Gilbert, 2009). Embora os EUA tenham uma das maiores reservas mundiais de P, prevê-se uma queda substancial na produção naquele país nos próximos 25 anos. Aparentemente, o acordo com o Marrocos visa garantir a segurança americana em termos de suprimento de alimentos e fertilizantes (Gilbert, 2009). O Governo brasileiro está optando por aumentar a exploração dos recursos internos.

Se os investimentos e projetos previstos se concretizarem, a dependência externa de fertilizantes do Brasil será substancialmente reduzida.

### **Fertilizantes: Perdas e Impacto Ambiental**

A produção de fertilizantes no mundo consome atualmente cerca de 1,2% da energia total utilizada. Os fertilizantes são responsáveis por 2 a 3% das emissões de GEE: 0,93% no processo de fabricação, 0,07% no transporte e 1,5% no uso. A agricultura responde por 10 a 12% das emissões totais de GEE.

As maiores emissões de GEE estão associadas aos fertilizantes nitrogenados (Tabela 37 e Tabela 38). Nas emissões que ocorrem durante a fabricação, o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub> têm algum peso, mas, no cômputo geral, as emissões de N<sub>2</sub>O são determinantes, especialmente aquelas decorrentes do uso dos fertilizantes no campo.

O N<sub>2</sub>O é produzido por processos naturais do ciclo do N do solo, principalmente por reações mediadas por microrganismos. As quantidades de N<sub>2</sub>O emitidas em solos aeróbios são relativamente pequenas. A estimativa do IPCC é que cerca de 1% do N fertilizante aplicado aos solos seja emitida na forma de N<sub>2</sub>O (IPCC, 2006), mas, os valores são muito variáveis. Não há dados específicos para as perdas de N<sub>2</sub>O em cana-de-açúcar. Embora esta seja uma pequena fração das perdas, este gás é um potente gás de efeito estufa, equivalente a 296 vezes o efeito do CO<sub>2</sub> em termos de quantidade de matéria (mol).

As emissões de N<sub>2</sub>O associadas ao uso de fertilizantes foram trazidas para o centro das discussões sobre o balanço ambiental de culturas utilizadas para a produção de biocombustíveis. Por exemplo, Crutzen et al. (2008) argumentaram que as

emissões de N<sub>2</sub>O decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados poderiam comprometer os benefícios ambientais da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis. No caso do etanol de cana-de-açúcar, o balanço ainda foi positivo, mas, alguns biocombustíveis teriam efeito líquido negativo do ponto de vista de emissões de GEE (Crutzen et al., 2008). Os cálculos de Crutzen et al. (2008) talvez devam ser revistos, mas, o fato é que as emissões de GEE passaram a ser vistas como relevantes para o cálculo da viabilidade ambiental dos biocombustíveis.

**Tabela 37 - Energia e gases de efeito estufa (GEE) associação à produção de fertilizantes.**

	NH <sub>3</sub> (N)	Uréia (N)	NA (N)	Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potássio (K <sub>2</sub> O)	Calcário (CaCO <sub>3</sub> )
	----- por kg de nutriente, entre parênteses -----					
Uso energia, MJ	45	53	65	14,0	9	8
Emissão CH <sub>4</sub> , g	2,5	3,7	4,2	1,8	1,0	0,9
Emissão N <sub>2</sub> O, g	0,02	0,03	19,7	0,02	0,01	0,01
Emissão CO <sub>2</sub> , kg	2,6	3,1	3,8	1,0	0,7	0,6
GEE, kg CO <sub>2</sub> eq	2,6	3,2	9,7	1,0	0,7	0,6

Fonte: Snyder et al. (2009); Wang (2007)

**Tabela 38 - Emissão de gases de efeito estufa (GEE) decorrente do uso de fertilizantes. As emissões de CO<sub>2</sub> são decorrentes da acidificação do solo pelos fertilizantes nitrogenados, que requerem a aplicação de calcário.**

	NH <sub>3</sub> (N)	Uréia (N)	NA (N)	Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potássio (K <sub>2</sub> O)	Calcário (CaCO <sub>3</sub> )
	----- por kg de nutriente, entre parênteses -----					
Emissão N <sub>2</sub> O, kg	0,016	0,016	0,016	-		
Emissão CO <sub>2</sub> , kg	0,40	0,40	0,40	-	-	0,44
GEE, kg CO <sub>2</sub> eq	5,05	5,05	5,05			0,44

Fonte: Snyder et al. (2009); Wang (2007)

Outras perdas relacionadas ao uso de fertilizantes nitrogenados são importantes, especialmente aquelas por volatilização de NH<sub>3</sub> e as por lixiviação de nitrato.

O impacto ambiental da NH<sub>3</sub> volatilizada é relativamente pequeno, mas, este gás é considerado a principal fonte de N atmosférico particulado. Em alguns países, a deposição de N atmosférico tem sido relacionada à acidificação de solos e a mudanças em ecossistemas naturais devido ao N promover o maior desenvolvimento de algumas espécies vegetais em detrimento de outras (Cantarella, 2007).

Fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal (nitrato e sulfato de amônio) estão sujeitos a perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> se aplicados na superfície de solos alcalinos (pH >7), mas, a ocorrência de solos com essas características é muito baixa no Brasil. Assim, as perdas com tais fertilizantes são pouco relevantes em solos ácidos (Terman et al., 1979). Porém, perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização são importantes quando a uréia é aplicada sobre o solo pois, os produtos da hidrólise dessa molécula elevam o pH do solo, o qual pode atingir até 9 ao redor da partícula de fertilizante. As perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub> têm impacto econômico importante, especialmente em locais como o Brasil em a uréia representa cerca de 60% do suprimento de fertilizantes e onde parte ponderável deste é aplicada na superfície dos solos devido aos sistemas de manejo prevalentes: adubações em cobertura, grandes áreas sob SPD, culturas perenes que dificultam a incorporação do fertilizante, cana colhida sem despalha a fogo, etc. Portanto, em solos ácidos,

fontes de N tais como nitrato de amônio e sulfato de amônio são preferíveis à uréia para aplicação superficial como atestam os trabalhos de vários autores com cana-de-açúcar (Prammanee et al., 1989; Freney et al., 1992; Cantarella et al., 2001; Vitti et al., 2002, 2002b, Costa et al., 2003)

As perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  com o uso da uréia são dependentes das condições de manejo do solo bem como de fatores ambientais e climáticos. As perdas de  $\text{NH}_3$  decorrentes do uso de uréia aplicada na superfície de solos no Brasil podem atingir 40 a 60% do N, porém, valores mais comuns em medições em condições de campo são da ordem de 20 a 40% (Cantarella, 2007).

A lixiviação de nitrato é considerada uma das mais importantes rotas de perdas de N em sistemas agrícolas, comprometendo a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Meisinger et al. (2008) sugerem que a lixiviação de nitrato representa, em média, de 10 a 30% do N adicionados aos solos, mas a magnitude das perdas é muito variável e depende da presença de nitrato no solo e de excedente de água para percolar pelo perfil do solo.

As perdas de N por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  no Brasil tem sido relativamente modestas. Uma lista de estudos feitos com fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  mostrou que, em geral, pouco do N fertilizante tem migrado para o subsolo (Tabela 39). Vários estudos com cana-de-açúcar têm apontado que esse tipo de perda é pouco relevante nas condições brasileiras, geralmente inferior a 5% do N aplicado (Reichardt et al, 1982; Salcedo et al., 1988; Orlando Filho et al., 1995; Oliveira et al., 2002 (lisímetro); Vitti, 2003), exceto em solos arenosos e/ou com cana com sistema radicular pouco desenvolvido, situação na qual Camargo (1989) observou perdas de 28% do N aplicado na forma de uréia. Períodos de chuvas intensas também podem provocar perdas por lixiviação de nitrato, como observado por Ghiberto (2010) com cana-de-açúcar: áreas adubadas com  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N tiveram 23% do N lixiviado abaixo de 0,9 m, mesmo em solo argiloso, em ano com precipitação pluvial acima da média durante o verão. Entre as razões para as baixas perdas de N por lixiviação de nitrato em cana-de-açúcar estão as baixa doses de N empregadas, o sistema radicular vigoroso e profundo, além de um ciclo longo, que facilitam a absorção do nitrato do subsolo.

**Tabela 39 - Perdas de N por lixiviação de nitrato em estudos conduzidos no Brasil (1).**

Solo	Fertilizante	Dose de N	Cultura	Ciclo	Precipitação	N lixiviado		Ref (2)
						Total	N-fertiliz.	
		kg ha <sup>-1</sup>		dias	mm	----- kg ha <sup>-1</sup> ----		
Nitossolo	UR	120	Feijão	120	661	6,7	traços	1
Nitossolo	SA	100	Feijão	365	1382	15,0	1,3	2
Nitossolo	SA	42	Feijão	86	423	traços	traços	3
Nitossolo	UR	100	Milho	150	620	32,4	11,0	4
LE	UR	60	Milho	170	1100	84,6	2,3	5
LVA	SA	80	Milho	150	717	9,2	0,4	6
LE	UR	100	Cana	102	667	87,0	34,0	7
LE	Aquamônia	100	Cana	102	667	29,0	7,0	7
Neossolo quartzar.	UR (lisímetro)	90	Cana	330	2015	4,5	traços	8
Nitossolo	UR	125	Milho	128	339	1,2	traços	9
Nitossolo	UR	250	Milho	128	339	1,1	traços	9
LVA	SA	120	Milho	120	615	15,4	0,7	10
Nitossolo	SA	280	Café	366	1323	29,6	6,5	11

(1) Vide Cantarella (2007) para a listagem das referências da tabela 4.

A contaminação de águas superficiais e profundas com NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no Brasil aparentemente não se tem mostrado um problema generalizado devido principalmente à baixa ocorrência de perdas por lixiviação.

### Fontes alternativas

Alternativas ao N de fertilizantes sintéticos para a cana-de-açúcar são a reciclagem de resíduos da indústria sucroalcooleira, o uso de outros resíduos agrícolas ou industriais contendo N, adubos orgânicos e fixação biológica de N (FBN).

No relatório anterior, a reciclagem de resíduos da indústria de cana-de-açúcar e o N derivado da FBN foram exhaustivamente discutidos. Muitas usinas de açúcar utilizam resíduos de outras agroindústrias, ricos em N, e produzidos nas proximidades das lavouras. O custo de transporte é determinante para a viabilidade de uso desses subprodutos.

Alguns processos que envolvem o açúcar ou o etanol como matérias primas, podem gerar novos resíduos, que contem N e outros nutrientes com possibilidades de retorno para o sistema de produção da cana-de-açúcar, substituindo fertilizantes minerais.

O açúcar e também o melaço produzido pelas usinas pode ser matéria prima para uma série processos com vistas a produtos específicos, na sucroquímica e alcooquímica. Em vários desses processos, a geração de resíduos em geral, não



oferece qualquer problema para o uso na agricultura, uma vez que são agregados poucos insumos, apenas para tornar os processos fermentativos mais eficientes.

A legislação brasileira através da Instrução Normativa n. 23/2005, classifica esses resíduos em diversas classes, descritas a seguir:

Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na<sup>+</sup>), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;

Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na<sup>+</sup>), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Alguns processos que utilizam o açúcar e o melão como matérias primas produzem aminoácidos, utilizados como aditivos para alimentação humana ou animal. A lisina, por exemplo, é um aminoácido obtido através da fermentação de açúcar e compõe a ração de aves e suínos. A lisina é produzida no Brasil desde 1997 pela Ajinomoto, e mais atualmente, desde 2007 pela CJ Corp, ambas no estado de São Paulo. A produção de cerca de 95 mil toneladas por ano de lisina gera um resíduo líquido, com cerca de 4% de N. (Inovação Unicamp, 2009)

O glutamato monossódico produzido pela Ajinomoto no Brasil desde 1977, também é obtido através da reação microbiana utilizando como matéria prima o melão proveniente da usina. O resíduo conhecido como Ajifer pode apresentar diferentes concentrações de N. A Ajinomoto produz cerca de 10 milhões de litros por ano, de resíduo utilizado como fertilizante nas culturas da cana e citrus principalmente. Além dos resíduos a empresa também produz uma série de fertilizantes organominerais, adicionando determinados micronutrientes ou outros macronutrientes. (Ajinomoto, 2010)

Em geral, as próprias usinas não estão capacitadas para a produção de aminoácidos ou outros produtos, e por esta razão, aliam-se a outras empresas que detêm a tecnologia, a exemplo da Ajinomoto, Tate & Lyle, entre outras. Os resíduos gerados são, entretanto, compartilhados com as usinas que auxiliam na disposição destes nas áreas agrícolas.

Alguns trabalhos demonstraram que o uso do ajifer na mesma dose de N que a uréia promoveu produtividades semelhantes na cana-de-açúcar, demonstrando sua eficiência como fertilizante nitrogenado. (Rossetto et al. 1996). A acidificação do solo com o uso do resíduo ocorreu, e foi superior a observada com o uso da uréia, sugerindo monitoramento ao longo dos anos de uso. (Mattiazzo et al. 1996).

Outros resíduos com potencial para uso agrícola, são os lodos provenientes de processos biológicos para o tratamento das águas residuárias, de processos industriais ou mesmo do tratamento de esgoto urbano. São oriundos da biotransformação dos compostos orgânicos complexos para compostos simples como o dióxido de carbono, água, outros gases e minerais. Ou seja, ocorre a mineralização dos contaminantes biodegradáveis, de forma que não haja prejuízo ao meio ambiente com o lançamento dos efluentes tratados. Alguns lodos podem ser utilizados na cana-de-açúcar como o lodo da produção de ácido cítrico, o lodo da indústria da coca cola e também os lodos do tratamento de esgoto.

Em geral, os efluentes industriais são tratados biologicamente por meio de bactérias e outros microrganismos que consomem a matéria orgânica através do processo respiratório. O processo ocorre nas lagoas de aeração que são equipadas com dezenas de milhares de difusores de ar que fornecem o oxigênio necessário. Em seguida, o efluente é encaminhado para as lagoas de decantação, onde o material sólido, flocos biológicos, se decantam formando o lodo.

Esse lodo é separado em lagoas de decantação, e por ser um material rico em matéria orgânica e baixa percentagem de nutrientes, pode apresentar certo potencial para uso agrícola.

Os lodos podem também ser misturados a outros resíduos orgânicos para como lixo urbano, restos de vegetação, aparas de madeira, etc. Na compostagem termofílica muitos organismos patogênicos são eliminados. Após esse tratamento, o lodo pode ser comercializado como fertilizante composto orgânico classe D, segundo o MAPA.

A Tabela 40 apresenta algumas empresas cujos resíduos são utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

**Tabela 40 - Resíduos usados na cultura de cana-de-açúcar.**

<b>Empresa</b>	<b>Produto</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Local</b>
Ajinomoto	Glutamato monossódico	Ajifer, 2, 7 e 8	Limeira e Laranjal Paulista, SP
Ajinomoto	Lisina	Ajifer L40	Valparaíso e Pederneiras, SP
CJ Corp	L -Lisina	Ferame	Piracicaba, SP
Corn	Sorbitol, Malatol, açúcar liquefeito	Água de maceração	Mogi Guaçu, Barra Bonita, SP
Tate & Lyle	Ácido cítrico	Lodo, micélio,	Santa Rosa do Viterbo, SP
Cargill	Acido cítrico	Lodo	Uberlandia

**Na Tabela 41 - Teores mínimos de nutrientes apresentados por alguns resíduos de interesse para a cana-de-açúcar.**

<b>Produto</b>	<b>pH</b>	<b>mat org</b>	<b>N total</b>	<b>K2O</b>	<b>Enxofre</b>	<b>densidade</b>
		%	%		%	g/ml
Ferami		3	4,5		3	1 e 1,25
Ajifer 2			2	0,3		
Ajifer 7			7	1		
Ajifer 8			8	0,5		
Ajifer L40		3	4		2	
Lodo	6	40	1			

Por esgoto entende-se toda a água residuária utilizada em atividades domésticas ou industriais que é lançada nos sistemas de captação de esgoto e direcionadas para as estações de tratamento (ETE), ou lançadas diretamente nos rios (Melo et al. 2001). A quase totalidade do esgoto é composto por água e durante o processo de tratamento, procura-se separar a água das frações sólidas que formarão o lodo de esgoto. Existem diversos processos para tratamento do esgoto e remoção da matéria orgânica com a finalidade de diminuir a DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Esses processos podem ser aeróbicos ou anaeróbicos e ambos geram o lodo, que deverá ainda ser tratado para eliminar possíveis focos de bactérias ou outros organismos patogênicos. Para o uso agrícola há que se considerar ainda o teor de metais pesados que podem estar presentes e que limitam a aplicação ao solo. Neste caso, o lodo deverá ser disposto em aterros sanitários.

A quantidade de nutrientes presentes no lodo de esgoto é variável, de acordo com o local e com a época do ano, e pode ser alta, principalmente em relação ao N e ao Ca, conforme mostra a Tabela 42.

**Tabela 42 - Teores de macronutrientes em lodo de esgoto obtidos na região metropolitana de São Paulo (Sabesp). Fonte: Santos (1996), Andre (1994) citados por Melo et al. (2001).**

	<b>Barueri</b>	<b>Vila Leopoldina</b>	<b>Franca</b>
		----- g kg <sup>-1</sup> (base seca)	
<b>N total</b>	22,05	18,5	79,1
<b>P</b>	3,2	9,4	10,6
<b>K</b>	0,04	1,6	0,63
<b>Ca</b>	72,9	5,6	22,1
<b>Mg</b>	9,6	2,4	2,1
<b>S</b>	5,1	10,1	---

Quando o lodo de esgoto não apresenta nenhuma limitação, a taxa de nitrogênio adicionada ao solo é alta. O lodo da estação de Franca, analisado por Berton (2000), apresentou 50,8 g kg<sup>-1</sup> de N total, com taxa de mineralização de 28% o que significa que 14,4 kg t<sup>-1</sup> de lodo é o N disponível para a cultura.

Quando o composto é feito utilizando o lodo de esgoto, a aplicação é vetada para uso em MAPA em hortaliças, pastagens e capineiras, raízes e tubérculos e a aplicação segue a o de Decreto Federal 4.954 de 14/01/2004 e suas Instruções Normativas 27 de 05/06/2006 e 25 de 23/07/2009, atendendo também as disposições da resolução CONAMA nº 375/2006.

Atualmente, tem sido estudado também o uso do efluente da estação de tratamento de esgoto para a irrigação. O trabalho de Deon (2010), permitiu concluir que o efluente forneceu, nas condições do experimento, 163 kg ha<sup>-1</sup> de N, 14 kg ha<sup>-1</sup> de P, 145 kg ha<sup>-1</sup> K , 80 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 28 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, 207 kg ha<sup>-1</sup> de S, além de micronutrientes. O aumento da produtividade da cana irrigada com esse efluente foi de 19,8 t ga<sup>-1</sup> na primeira soca e 40,5 t ha<sup>-1</sup> na segunda soca.

O aproveitamento de resíduos para elaboração de fertilizantes é uma tendência a ser implementada nos próximos anos. A Embrapa Solos, por exemplo, estuda os resíduos de cervejaria como o bagaço de cevada fornecido pela Ambev. Pretende-se aproveitar também aparas de grama, carvão e dejetos animais para produzir compostos orgânicos. (EMBRAPA SOLOS, 2010)

### **Fontes alternativas de adubos minerais**

Para o potássio, o Brasil dispõe de grandes reservas de várias rochas alternativas às matérias primas convencionais, que contém potássio, entre elas os serpentinitos, micaxistos e flogopitos residuais de mineração de esmeralda de Campos Verdes (GO), Itabirito/Nova Era (MG) e Campo formoso (BA). Importantes também são o verdete de Abaeté (MG) e o Sienito Nefelínico, de Poços de Caldas, MG (Lopes et al., 2009).

Esses minerais não têm o K prontamente solúvel nem em alta concentração, como a silvinita usada na produção de cloreto de potássio, o fertilizante potássico mais usado. No caso dos matérias alternativos, o K normalmente está preso à estrutura de minerais secundários e necessita de tratamento químico e/ou térmico para disponibilizar o nutriente às plantas. Os custos de processamento e transporte precisam ser avaliados também com relação aos GEE.

A tecnologia para tornar essas rochas utilizáveis em agricultura foi pesquisada por muitos anos na Universidade Federal de Lavras (Alfredo Scheid Lopes, informação pessoal) e muita informação está disponível. Porém, o custo de processamento, transporte e o baixo teor de K tornam o emprego desses materiais antieconômico a preços atuais. Eventualmente, poderão ser utilizados em áreas próximas do local de produção do fertilizante. Esses materiais podem servir como reservas estratégicas, mas, devido aos enormes estoques de rochas potássicas facilmente processáveis e baratas existentes no mundo atualmente, é pouco provável que a opção por produtos de baixa concentração e solubilidade seja considerada.

As rochas fosfáticas são processadas para uso como fosfato natural ou para a produção de fertilizantes solúveis, tais como o superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato de diamônio etc. No entanto, a legislação restritiva, em alguns países, quanto à solubilidade mínima do fosfato em água, faz com que muito

material mineral seja descartado como rejeito. Além disso, algumas rochas fosfatadas não apatíticas não são adequadas para a produção de fertilizantes solúveis em água (Chien et al., 2009). Com isso, muito material fosfatado, de qualidade inferior, não é aproveitado como fertilizante. Levando em conta a relativa escassez de rochas fosfatadas no mundo em médio prazo, há interesse no aproveitamento desses materiais.

Chien et al. (2009), em revisão sobre o assunto, mostraram que há várias opções para o aproveitamento de fertilizantes fosfatados com baixa solubilidade em água, incluindo a mistura de rochas fosfatadas contendo P solúvel em água, uso de fosfato de rochas não apatíticos calcinados para aplicação direta, e fertilizantes fosfatados com acidulação não-convencional. Em alguns casos, mudanças na legislação de fertilizantes são necessárias. Porém, os dados de Chien et al. (2009) mostram que há opções para aproveitar melhor os recursos naturais disponíveis para uso como fonte de P. Neste caso, o Brasil teria estoques adicionais de materiais para uso como fontes de P na agricultura.

Poucos dos estudos com adubos não convencionais foram feitos com a cultura da cana-de-açúcar, porém, pelo fato de ter ciclo longo e sistema radicular profundo e abundante, esta cultura pode ser bastante eficiente no aproveitamento de P de baixa solubilidade. Cantarella et al. (2002) observaram que misturas de fosfato natural reativo do norte da África (Daou) com superfosfato triplo foram tão eficientes como fonte de P para a cana-de-açúcar quanto o adubo solúvel. Porém, o adequado aproveitamento de algumas dessas fontes de P de baixa solubilidade em cana-de-açúcar precisa ser precedido de novos estudos. De qualquer modo, há opções de adubos fosfatados, além das fontes tradicionais.

### **Fertilizantes de eficiência aumentada**

Os princípios do uso eficiente de fertilizantes incluem o emprego da dose apropriada, da fonte adequada para cada condição de solo, da época correta de aplicação e da melhor localização. Esses princípios tem sido discutidos e enfatizados recentemente por vários autores e instituições (Roberts, 2007; Bruulsema et al, 2009), em função da necessidade do setor agrícola responder aos anseios da sociedade pelo uso adequado de insumos, e não serão detalhados neste texto.

As fontes convencionais de N, que incluem o sulfato de amônio, nitrato de amônio, uréia, DAP e MAP, tem em comum o fato de terem o N em forma solúvel e prontamente disponível. Por outro lado, aplicadas ao solo, também estão imediatamente sujeitas aos mecanismos de perdas já discutidos. Nesse sentido, há interesse na utilização de fontes não convencionais de N visando a redução de perdas e o aumento da eficiência de uso do N. Esses fertilizantes incluem produtos de baixa solubilidade ou liberação lenta, de liberação controlada ou aditivados com inibidores que visam manter o N em formas menos sujeitas a perdas. Estas classes de fertilizantes são conhecidas como Fertilizantes de Eficiência Aumentada (Hall, 2005).

Os fertilizantes de liberação lenta ou controlada incluem compostos de baixa solubilidade em água e os fertilizantes solúveis contidos em encapsulados com S elementar, resinas ou polímeros sintéticos. Há um grande número de fertilizantes nesta classe no comércio mundial, embora, no Brasil, a oferta seja limitada (Cantarella, 2007; Chien et al., 2009). O emprego dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada é pouco significativo no mundo todo (Tabela 43) devido ao preço elevado: entre duas e oito vezes o preço do nutriente de fertilizante

convencionais. Há, no entanto, um grande interesse da indústria de fertilizante no desenvolvimento de opções mais baratas de tais produtos de modo que nos próximos anos é possível que novos produtos cheguem ao mercado. Há incentivos para o uso de tais produtos no Japão e, aparentemente, a indústria de fertilizantes na China está sendo estimulada a produzir fertilizantes que possam ter maior eficiência de uso.

Os fertilizantes de liberação lenta ou controlada praticamente não são empregados em cana-de-açúcar devido aos preços não competitivos com as fontes tradicionais.

**Tabela 43 - Consumo de fertilizantes de liberação lenta ou liberação controlada em 2004/05.**

<b>Regiões</b>	<b>UR</b>	<b>Aldeídos SCU/PCSCU</b>	<b>Polímeros</b>	<b>Total</b>
	----- 1000 t de produto -----			
	----			
<b>EUA</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>130</b>	<b>590</b>
<b>Europa</b>	<b>80</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>120</b>
<b>Japão</b>	<b>5</b>	<b>92</b>	<b>-</b>	<b>97</b>
<b>Total</b>				<b>807</b>
<b>Convencional</b>				<b>420.000</b>

Fonte: Trenkel<sup>19</sup>

Os fertilizantes aditivados com inibidores de nitrificação e de urease, também conhecidos como Fertilizantes Estabilizados (Hall, 2005), tem tido maior aceitação no mercado pois têm preços mais competitivos com os tradicionais.

Há vários inibidores de nitrificação patenteados e empregados em fertilizantes comerciais, especialmente a nitrapirina, a dicianodiamida (DCD) e o fosfato de 3,4-dimetilpirazole (dmpp). Os inibidores de nitrificação visam manter o N na forma amoniacal, menos sujeitas a perdas por lixiviação. O período de efetiva inibição varia de 3 a 10 semanas, dependendo do produto e do tipo de solo (Trenkel, 1997; Weiske et al., 2001). Testes conduzidos no Brasil com o DCD ou com o dmpp não evidenciaram aumento do rendimento das culturas (Buzetti et al., 2007; Souza et al., 2008, Marcelino, 2009). No estudo de Marcelino (2009), embora o rendimento de grãos de milho não tenha sido afetado, os tratamentos com o DCD apresentaram maior absorção do N fertilizante do que aqueles sem o inibidor. Pasda et al. (2001) em uma rede de dezenas de experimentos conduzidos na Europa mostraram que, em uma parte dos locais, houve aumento na produção de culturas com o uso de fertilizantes contendo dmpp. Apesar do potencial para aumentar a eficiência de uso do N, o emprego de inibidores de nitrificação tem sido pequeno. Esses produtos têm mais chances de apresentar resultados positivos em condições favoráveis a perdas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação, o que nem sempre acontece. É pouco provável que esses aditivos possam provocar aumentos de produtividade em cana-de-açúcar devido as baixas perdas de N por lixiviação de nitrato. O manejo adequado de fertilizantes nitrogenados convencionais, com o parcelamento

<sup>19</sup> Trenkel. Relatório IFA 2010.

das aplicações, pode reduzir as perdas por lixiviação e dispensar o uso dos inibidores.

Inibidores de nitrificação podem também reduzir as perdas de N na forma de  $N_2O$ . Snyder et al. (2009) compilaram os resultados de vários estudos com evidências de redução de emissão de  $N_2O$  quando os fertilizantes continham DCD ou dmpp, mas, é pouco provável que isto promova o uso voluntário, pelos agricultores, de inibidores de nitrificação. Na Nova Zelândia há atualmente incentivo para pesquisas com inibidores de nitrificação e o uso de tais produtos tem sido recomendado, especialmente em pastagens intensamente exploradas, com a finalidade de reduzir a lixiviação de  $NO_3^-$  e as emissões de  $N_2O$  para promover a indústria de produção animal daquele país como ambientalmente favorável (Ministry for the Environment, 2009). A magnitude e importância das emissões de GEE evitadas com o uso de inibidores de nitrificação ainda são incertas. Não há registro de avaliação de inibidores de nitrificação para reduzir perdas de  $N_2O$  em cana-de-açúcar, um assunto que talvez mereça consideração.

Os Fertilizantes Estabilizados à base de inibidores de urease tem sido empregados mais amplamente na agricultura graças ao desenvolvimento da molécula fosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), que faz parte de fertilizantes vendidos em vários países. Centenas de produtos tem sido testados como inibidores de urease (Kiss & Simihaian, 2002) mas, até o momento, apenas o NBPT se tornou comercial.

O NBPT, adicionado à uréia, inibe a hidrólise e, conseqüentemente, as perdas por volatilização de  $NH_3$  por um período que varia de 3 a 14 dias, após o que sua eficiência decresce gradativamente. Neste intervalo de inibição, idealmente a uréia é incorporada ao solo mecanicamente ou por meio de chuva ou irrigação. Mesmo que isso não ocorra, durante o intervalo em que a uréia permanece estável, o fertilizante pode se mover para o interior do solo por difusão e se tornar parcialmente protegido. Dados obtidos no Brasil mostram redução de perdas de  $NH_3$  por volatilização em média de 60% para culturas de verão e de 35% para cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo (Cantarella et al., 2008b; 2009); neste último caso, o N foi aplicado em períodos mais secos, com menores chances da uréia ser incorporada ao solo pela chuva, além dos canais apresentarem espessa camada de palha, a qual dificulta a interação da uréia com o solo (Cantarella et al., 2008b). A adição do NBPT à uréia permitiu também um aumento do rendimento de grãos de milho. Dados similares foram apresentados por Trenkel (1997) relativos a uma rede de ensaios conduzidos na América do Norte. O uso do NBPT em cana-de-açúcar não tem apresentado resultados tão promissores quanto em culturas de grãos (

Tabela 44).



**Tabela 44 – Perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização em sete experimentos conduzidos com a cultura da cana-de-açúcar, em condições de campo, comparando nitrato de amônio (AN) ou sulfato de amônio (AS) com uréia (UR) ou uréia tratada com o inibidor de urease NBPT. Os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo coberto com palha. Fonte: Cantarella et al., 2008).**

Local	Mês de avaliação	Condição climática predominante	Perdas de NH <sub>3</sub>			% redução pelo NBPT
			AS ou AN	UR	UR-NBPT	
--- % do N aplicado --						
Araras	Nov	Chuvoso	0,1	11,2	7,2	36
Iracemapolis	Set	Seco	0,2	25,4	15,2	40
Araraquara	Out	Seco	0,2	25,1	21,3	15
Pirassununga	Dez	Chuvoso	0,1	7,2	1,6	78
Araras II	Ago	Seco	0,4	16,4	13,4	18
Jaboticabal	Nov	Muito chuvoso	0,1	1,1	0,8	-
Rib. Preto	Jun	Seco	0,3	15,2	11,2	26

Pode-se concluir que os fertilizantes de eficiência aumentada têm potencial para aumentar a recuperação dos nutrientes pelas plantas e reduzir perdas para o ambiente em cana-de-açúcar, embora nem todos os produtos dessa categoria possam apresentar vantagens para essa cultura, como discutido acima. Nas condições atuais, porém, o preço é uma séria limitação. A relação custo-benefício favorável a tais produtos ainda não foi comprovada.

### **Intensificação Ecológica**

Normalmente as perdas de nutrientes para o ambiente, e os consequentes impactos ambientais resultantes do uso de fertilizantes são dependentes das doses empregadas. Maiores doses resultam em maiores perdas. Porém, o uso de menores doses não significa necessariamente menor eficiência e menores danos ambientais. A otimização no uso de insumos implica em adubação balanceada e o emprego das melhores práticas de manejo (Roberts, 2007) - fertilizante certo, na dose certa, na época certa e no local certo - aliada à correção de acidez do solo para promover o aumento do sistema radicular. Snyder et al (2009) discutiram o conceito, mostrando que o impacto ambiental por unidade de produto (tonelada de cana, por exemplo) é menor quando a adubação é balanceada, embora as doses empregadas possam ser maiores do que aquelas que minimizem perdas para o ambiente. Além disso, dizem os autores, obtendo altas produtividades é possível deixar de cultivar áreas marginais ou sistemas mais sensíveis, colaborando para o balanço ambiental favorável geral.

## **1.4 Análise técnico-econômica da integração horticultura-destilaria de etanol visando o uso de CO<sub>2</sub> e utilidades da usina<sup>20</sup>**

### **Resumo**

O cultivo protegido, ou plasticultura, apresenta no Estado de São Paulo uma superfície de apenas 1.450 ha, com uma concentração nas atividades de silvicultura, cultivo de plantas ornamentais, produção de hortaliças e pequenas frutas.

O cultivo protegido no Brasil ainda apresenta uma estrutura muito simples, tanto nas áreas tecnológicas, quanto na de comercialização, prova do baixo consumo de hortaliças no país (40 kg/hab.ano), que representa menos da metade do consumo médio de um norte-americano ou de um europeu. Por outro lado, o desafio do setor de alimentação não é somente produzir mais alimentos, mas também atender um consumidor cada vez mais crítico e atento em relação ao produto e às condições em que ele foi produzido.

O cultivo protegido resolve o problema da produção entressafra, oferece uma melhor qualidade, reduz o uso de agroquímicos, e o seu alto rendimento agrícola permite preços competitivos ao consumidor. Em estufas modernas, podem-se obter rendimentos de 650 t/ha de tomate de mesa (equivalente a 10 vezes a média nacional, incluindo o tomate industrial). Outras vantagens são a redução do consumo de fertilizantes (30%) e de água (50%) por quilo de produto colhido, assim como as baixas perdas na comercialização (menor que 5%).

A valorização dos subprodutos da produção do bioetanol pode facilitar a implantação de projetos de estufas agrícolas, reduzindo os custos de operação através do uso do CO<sub>2</sub> das dornas de fermentação (para o aumento da taxa da fotossíntese), a recuperação da energia térmica residual (para o aquecimento e desumidificação das estufas), o uso do bagaço (para a fabricação substratos) e da vinhaça (na preparação de soluções nutritivas).

Neste estudo, utilizou-se uma usina padrão com capacidade de moagem de 2 milhões de toneladas de cana e produção de 40l etanol/t cana, gerando 15.200 t de CO<sub>2</sub> por dia e o equivalente a 866,8 GJ de energia térmica de baixa temperatura (a partir da recuperação do calor residual da vinhaça). A análise de rendimento de uma estufa de tomate integrada à usina demonstrou que o rendimento agrícola passa a 65 kg/m<sup>2</sup>, e o custo de produção por quilo de produto colhido reduz-se em 24%. A rentabilidade do projeto aumenta em 58% com um rendimento bruto em torno de R\$ 1,2 milhões/há, apresentando um retorno sobre o investimento menor que 1 ano.

Para cada hectare de estufa agrícola são criados, em média, 15 empregos diretos e permanentes, podendo esta ser uma solução para o excedente de mão-de-obra gerado pela mecanização da colheita da cana. Do ponto de vista ambiental, evita-se a emissão de 912 toneladas de CO<sub>2</sub>/ha.ano. Além disso, a integração de 60 ha de estufas pode representar receitas adicionais da ordem de R\$2,7 milhões por ano para a usina, em termos de arrendamento de terras, créditos de carbono e uma porcentagem das economias proporcionadas às estufa agrícolas.

---

<sup>20</sup> Pesquisadores responsáveis: Andrés da Silva, Marcelo Cunha (CTBE) e Luís Augusto Barbosa Cortez (FEAGRI/UNICAMP).

Para tanto, as Usinas de Bioetanol necessitam estabelecer uma relação de negócios bem definida com as estufas agrícolas, demonstrando a sua implicação sócio-econômica na região, na produção de alimentos e no desenvolvimento auto-sustentado. O modelo de negócio, proposto pela empresa EACEA LTDA, cujo objetivo é promover e realizar projetos de integração no Brasil e no mundo, pode incluir ou não a participação das usinas de álcool nas empresas de estufas agrícolas, abrindo as portas para uma diversificação de suas atividades.

## **Abstract**

Greenhouse production in Sao Paulo State represents only 1450 ha concentrated in forestry, ornamental, horticultural and small fruits production.

In Brazil, greenhouse production and commerce have low technological level. Evidence of that situation is horticultural brazilian consumption of 40 kg/year compared to a double for a North American or a European. Therefore, food supply chain has the challenge of not just to increase food availability, but also, to raise food quality and product information to the new consumer generations.

Greenhouse production allows having products all long the year, with much better quality, less pesticides and high yields. In modern greenhouses, it is possible to get up to 650 t/ha of table tomatoes (Brazil average is 10 times less, including tomatoes to industry). Other advantages are reduction in fertilizer use (30%) and water (50%) per kilo of product, as well, small losses in commercialization (less than 5%).

Recycling by-products from sugar-cane and alcohol industries can reduce operation costs in greenhouse projects by using CO<sub>2</sub> from fermentation process (to increase photosynthesis rate), using residual thermal energy (to heat and deshumidify air), using bagasse (as substrat for soilless culture) and using vinasse (in preparation of nutrient solutions).

In this study, a standard alcohol industry of 2 millions tons of sugar-cane capacity producing 40 liters of ethanol per ton of sugar-cane produces 15200 tons of CO<sub>2</sub> per day and 886.6 GJ of low temperature thermal energy (from vinasse). Economic analysis of a tomato greenhouse facility using this above by-products shows that agronomic yields grows up to 65 kg/m<sup>2</sup> and production costs are 24% lower than in a conventional greenhouse. Project profits increase 58% up to R\$ 1.2 millions/ha and ROI is lower than 1 year.

One hectare of greenhouse creates around 15 direct and permanent employments that could be a solution to the labor available from sugar-cane harvest mechanization policy. Emissions of 912 tons of CO<sub>2</sub>/ha per year are evitated. Moreover, the integration of 60 ha of greenhouses can represent up to R\$ 2.7 millions in extra revenues to the sugar cane facility as land location, carbon credits and a percentage of greenhouse operation cost economies. For that, Bioethanol industry needs to establish a commercial relationship with greenhouse facility indicating social and economical local repercussions in terms of sustainable food production. The partnership business model proposed by EACEA Ltda which goal is to promote and develop greenhouse integrated projects in Brazil does not require Bioethanol industry participation in the venture. Furthermore, this can be an excellent opportunity to a portfolio diversification.

## **1.4.1 Introdução**

### **1.4.1.1 A Horticultura no Brasil**

Em 2008, Paulo Skaff, ex-presidente da FIESP, resumiu o agronegócio brasileiro como um negócio que movimenta US\$ 330 bilhões por ano, respondendo por 25% do PIB, 37% dos postos de trabalho e 36% das exportações do País. É um dos grandes responsáveis pela boa performance da balança comercial, com vendas externas acima de US\$ 60 bilhões, constituindo-se em uma das atividades que mais se modernizaram e se capacitaram nos últimos anos (FIESP, 2008).

Em 1998, as frutas e hortaliças responderam por 9,4% da movimentação financeira, sendo o valor das hortaliças estimado em US\$ 9,75 bilhões, isto é, 3,5% do PIB agrícola (VILELA, 2000).

No censo de 2006 (IBGE, 2009), o valor da produção vegetal é responsável por 77,07% do total de R\$ 147.270 milhões, que inclui a pecuária e outras atividades. Entre a produção vegetal, 64,61% corresponde ao obtido pelas culturas de lavoura temporária, 22,25% pelas culturas de lavoura permanente, 7,55% pela silvicultura, 3,85% pela horticultura, 1,18% pela extração vegetal e 0,56% pela floricultura.

Este estudo trata das atividades ligadas à produção vegetal que podem ser integradas ao cultivo protegido. Tais atividades são divididas segundo o tipo de produção e tecnologia, normalmente empregadas: cultivo de plantas ornamentais (corte e vaso), cultivo de pequenas frutas, a olericultura (cultivo de hortaliças frutas e folhosas), e as atividades de propagação vegetal, incluindo a produção de mudas para culturas em campo aberto, plantio de florestas e em estufas agrícolas.

#### **Cultivo de plantas ornamentais**

O Brasil tem cerca de 5,1 mil produtores de plantas e flores, responsáveis pelo cultivo de quase 8 mil hectares, o que, segundo o Instituto Brasileiro de Floricultura, Ibraflor, (Portal do mundo das flores, 2009), deve movimentar R\$ 1,3 bilhão em 2009 (aumento de 12%). Sozinha, a Cooperativa Veiling, em Holambra (SP), responde por 30% do comércio nacional desses produtos e prevê faturar R\$ 249 milhões em 2009. Atualmente, a cooperativa conta com cerca de 300 fornecedores. Seu mercado reúne desde plantas para paisagismo de grande, médio e pequeno portes até flores e plantas em vaso para decoração e flores e folhagens de corte para a criação de arranjos florais e buquês. Em 2008, foram comercializados cerca de 200 milhões de unidades. As variedades mais vendidas no Veiling neste ano foram rosa, gérbera, lírio, tango e alstroeméria (de corte); kalanchoe, violeta, calandiva, crisântemo, mini-crisântemo e lírio (de vaso); além das plantas ornamentais, como cactus, suculentas, ervas aromáticas e samambaias.

A média anual de consumo de produtos ornamentais no Brasil é de R\$ 13,00 a R\$ 15,00 por pessoa, valor ainda muito baixo quando comparado à média européia, que é de 70 dólares por habitante/ano (JUNQUEIRA, 2008).



**Figura 45 - Veilling – leilão eletrônico de flores**

Nos últimos anos, em áreas estratégicas no Ceará, no vale do São Francisco, em Minas Gerais e no Estado de São Paulo, foram desenvolvidos novos projetos para a cultura de flores para exportação com resultados que poderiam ter sido melhores se a logística (rodovias, câmaras frias e aeroportos equipados para cargas perecíveis) tivesse acompanhado tais investimentos (MATHIAS, 2006). O mercado interno continua sendo a principal força motriz deste segmento.

### **Olericultura**

No ano de 1998, a produção brasileira de hortaliças alcançou mais de 11.571 mil toneladas, ocupando uma área de mais de 778 mil hectares, distribuída como mostra a Tabela 45. Merece destaque o Estado de São Paulo, com uma produção de cerca de 3.926 mil toneladas, no valor de US\$3.436 milhões, ocupando uma área de aproximadamente 169 mil hectares.

Destacam-se na produção brasileira o tomate (23%), a batata (23%), a cebola (8%), a cenoura (6%) e o alho. No cenário paulista, o tomate ocupa ainda o primeiro lugar com 21%, seguido pela batata (16%).

A olericultura paulista participou com cerca de 21% da área nacional, cultivada com hortaliças, respondendo isoladamente por mais de 34% da produção brasileira e por cerca de 50% da produção regional (VILELA, 2000).

**Tabela 45 - Produção e valor da produção de hortaliças no Brasil**

<b>Região</b>	<b>Produção (10<sup>3</sup> toneladas)</b>	<b>Valor (10<sup>6</sup> US\$)</b>
SUDESTE	7 868	6 630
SUL	1 967	1 657
NORDESTE E CENTRO OESTE	1 736	1 463
<b>TOTAL</b>	<b>11 571</b>	<b>9 750</b>

Fonte: VILELA (2000)

Estima-se que a CEAGESP seja responsável por mais de 25% da comercialização dos hortifrutigranjeiros no Brasil. Além de ser um estado representativo na produção e comercialização de hortaliças, São Paulo tem sido considerado como o centro formador de preços para as diversas commodities agrícolas e, por essas razões, desempenha um papel fundamental nas decisões de investimento no agronegócio.



**Figura 46 - CEAGESP em São Paulo**

VILELA (2000) ressalta, porém, a participação crescente da rede de supermercados na introdução de novas variedades hortícolas. Os supermercados, setor de refeições coletivas, restaurantes industriais e redes de fast-food passaram a representar as maiores perspectivas de desenvolvimento para a olericultura brasileira. A participação dos supermercados na venda de produtos olerícolas representava 3% há 15 anos. Com uma taxa de crescimento média de 3%, hoje, os supermercados alcançaram a margem de 30%.

A importância da olericultura no setor primário do Estado de São Paulo é muito grande dada a sua concentração e dinâmica. Estima-se que cada hectare de hortaliça pode gerar até 6 empregos diretos e o mesmo número de indiretos (VILELA, 2000). Na olericultura paulista, ela ocupa 7,1% da força de trabalho da agricultura estadual, gerando uma renda de US\$ 2 mil a US\$ 25 mil por hectare, enquanto as culturas tradicionais alcançam menos de US\$ 500 por hectare.

### **O cultivo de pequenas frutas**

A produção de frutas no Brasil alcançou 2,3 milhões de hectares em 2008 (IBGE, 2008), sendo a maior parte ocupada pela produção de laranja e outros citrus, além de banana, coco, abacaxi, manga, maracujá, melão, goiaba, entre outras. Por outro lado, a produção brasileira de pequenas frutas, como o morango (*Fragaria vesca*), o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*), a framboesa (*Rubus idaeus*) e a amora preta (*Rubus ulmifolius*), vem sendo incrementada nos últimos vinte anos devido ao interesse do consumidor por estes frutos, sobretudo graças às suas propriedades nutracêuticas.

Existem poucas estatísticas oficiais sobre a produção e a área cultivada dessas espécies no Brasil; contudo, dados de pesquisadores e extensionistas apontam um crescimento da área cultivada, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. As regiões de Campos do Jordão e de outros municípios da Serra da Mantiqueira, incluindo o sul de Minas Gerais, estão cultivando pequenas frutas e obtendo sucesso. Hoje essas regiões contam com, aproximadamente, 60 produtores e uma área total cultivada superior a 30 ha, com tendência ao crescimento. Os produtores da Mantiqueira estão se organizando e investindo na implantação de pomares e na adoção de técnicas como irrigação, plasticultura e câmaras frias, visando, além do processamento industrial, o mercado "in natura", o qual é exigente na aparência e frescor das frutas (SILVA, P.R., 2008). Ainda segundo SILVA, P.R. (2008), no Rio Grande do Sul, região com clima apropriado para frutas de clima temperado, o mirtilo é cultivado por 45 produtores rurais e ocupa uma área de 65 ha com produção de 150 toneladas. A framboesa é produzida por 2 produtores em uma área de 8 ha e uma produção de 45 toneladas. Já a amora-preta é cultivada por 149 produtores em uma área de 145 ha com uma produção de 300 toneladas.

Segundo ANTUNES (2006), existem 300 hectares de amora-preta distribuídos no sul de Minas Gerais, na região de Jundiaí (SP), Curitiba e Palmas no Paraná, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Estes cultivos, em sua maioria, são em pequenas propriedades, e a fruta fresca tem grande valor no mercado. Em algumas regiões, como as de Pelotas, Antônio Prado e Vacaria, pequenas cooperativas já transformam a produção em geléias e sucos. A produção de amora-preta no Brasil estende-se de outubro a fevereiro, não havendo oferta interna do produto fora deste intervalo.

No CEAGESP, essas frutas podem ser encontradas durante todo o ano. Entre novembro e abril, são comercializadas as nacionais e, durante os outros meses, as importadas. As pequenas frutas importadas ofertadas no mercado nacional são, na maioria, provenientes de países europeus, principalmente Portugal, Espanha e Itália, sendo comercializadas no atacado por R\$ 90,00/kg, em média. Em junho de 2007, cumbucas de 125 gramas de amora-preta, framboesa e mirtilo importados estavam sendo comercializadas, em média, por R\$ 15,90 no varejo especializado da cidade de São Paulo (SILVA, P.R., 2008).

O mirtilo, a framboesa e a amora preta têm um potencial muito grande para o cultivo em ambientes protegidos, aumentando o período de safra e melhorando a qualidade dos frutos. A simples proteção das chuvas e a hidroponia podem representar aumentos consideráveis da produtividade e de redução das perdas. Por outro lado, o morangueiro, espécie olerícola considerada na categoria de pequenas frutas, adapta-se perfeitamente ao cultivo intensivo dentro de estufas agrícolas.

No aspecto econômico, tais frutas têm mercado garantido nas principais economias mundiais, especialmente nos Estados Unidos, maior produtor mundial de fruta fresca (cerca de 900 mil toneladas anuais) e na produção congelada (aproximadamente 205 mil toneladas) (MADAIL, 2005). Merecem destaque também a Espanha (350 mil toneladas), o Japão (180 mil toneladas), a Polônia (150 mil toneladas), o México (141 mil toneladas) e a Itália (102 mil toneladas). O Brasil não figura entre os grandes países produtores. A produção nacional está em torno de 100 mil toneladas, concentradas principalmente nas regiões Sudeste e Sul.

O Estado que mais produz no país é Minas Gerais, com oferta superior a 30 mil toneladas. São Paulo vem depois com 29 mil toneladas, e o Rio Grande do Sul com 11 mil toneladas. Juntos, esses Estados são responsáveis por mais de 80% da produção nacional. Minas Gerais tem na região de Pouso Alegre, situada no Sul do Estado, o principal pólo de produção de morangos do país. Nesta região, um número aproximado de 3.000 produtores distribuídos em cinco municípios cultivam mais de 1.000 hectares e geram uma produção anual de cerca de 30 mil toneladas, equivalentes a mais de R\$ 23 milhões por safra.

### **Atividades de propagação vegetal**

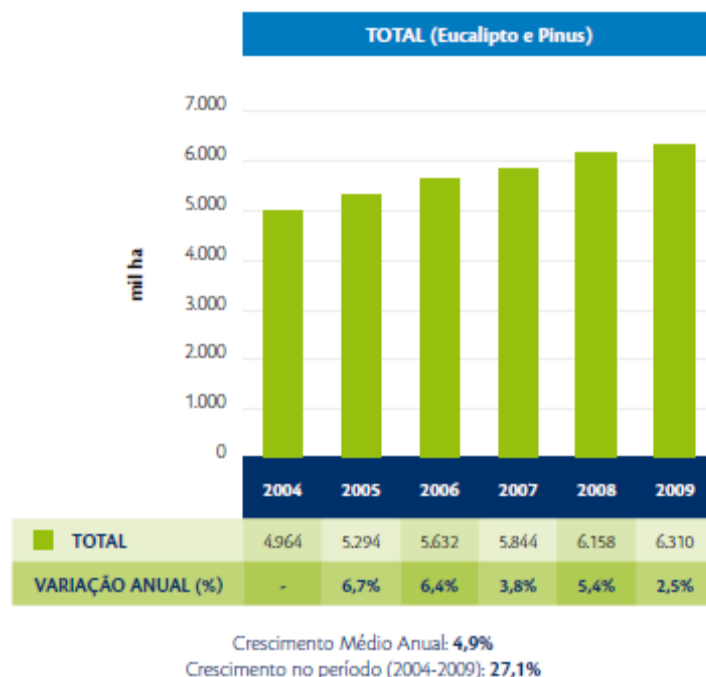
Entende-se por propagação vegetal o cultivo de mudas e plântulas para a produção de florestas plantadas, culturas permanentes e temporárias, em campo aberto ou em estufas agrícolas. No Brasil, este mercado é expressivo na produção de mudas para eucaliptos, pinus, florestas nativas e outras grandes culturas permanentes, como a citricultura. Neste capítulo, será analisado detalhadamente o potencial da produção de mudas para a silvicultura.

Segundo dados da ABRAF (2009), o setor de florestas plantadas sofreu os efeitos da crise financeira mundial em 2009, demonstrando uma queda na demanda dos principais produtos da cadeia de base florestal a partir do último trimestre de 2008 e durante o primeiro semestre de 2009. Em decorrência, a taxa anual de expansão de florestas plantadas em novas áreas, cuja média entre 2005 e 2008 era de 5,5 % ao ano, caiu para 2,5 % ao ano em 2009 (Figura 47).

O acréscimo de 152.700 ha plantados em relação ao total de 2009 foi alcançado em função do crescimento de 4,4% na área plantada com eucalipto e a queda de 2,1% na área com pinus, o que resultou em aumento de 2,5% da área acumulada com florestas plantadas com ambos os grupos de espécies em 2009 em relação ao ano anterior.

A área de florestas com eucalipto está em franca expansão na maioria dos estados brasileiros com tradição na silvicultura deste grupo de espécies ou em estados considerados como novas fronteiras da silvicultura, com crescimento médio no país de 7,1% ao ano entre 2004-2009, representando uma expansão de mais de 1 milhão de hectares na área plantada nos últimos 5 anos (crescimento acumulado de 41,1% no período).





Fonte: ABRAF (2010)

**Figura 47 - Gráfico da evolução de florestas de Eucalipto e Pinus plantadas**

A expansão na área plantada com eucalipto é resultado de um conjunto de fatores que vêm favorecendo o plantio em larga escala deste gênero. Entre os aspectos mais relevantes estão o rápido crescimento em ciclo de curta rotação, a alta produtividade florestal e a expansão e direcionamento de novos investimentos por parte de empresas de segmentos que utilizam sua madeira como matéria-prima em processos industriais. Em particular, as expansões previstas no segmento de celulose e papel têm sido a alavanca do crescimento nas áreas plantadas deste grupo de espécies.

Por outro lado, a pequena queda observada na área de florestas plantadas com pinus deve-se, em parte, pela decisão de algumas empresas do setor em substituir gradativamente florestas com pinus por eucalipto ou por outras culturas, como observado em empresas localizadas nos estados de Mato Grosso do Sul, Pará e Amapá. Além disso, parte desta redução é atribuída aos efeitos da crise econômica global, uma vez que este grupo de espécies está fortemente associado à indústria madeireira, que sofreu redução no nível de produção e exportação, principalmente aquela voltada ao setor da construção civil nos Estados Unidos.

Estima-se que seja necessário 1 hectare de estufas para a produção de mudas para cada 10 mil hectares de floresta plantada, o que equivale a um aumento de 20 hectares da área de estufas por ano, somente para a expansão de florestas plantadas (pinus e eucalipto). Os investimentos deste setor nas atividades de plantio no Brasil para o período de 2010 a 2014 são estimados em R\$ 3,04 bilhões (ABRAF 2010).

### 1.4.1.2 O Cultivo Protegido

O cultivo protegido é um termo usado genericamente, mas que pode ter abrangências muito diferentes segundo o tipo de estrutura e conteúdo tecnológico empregado. Ele pode ser usado no sentido de simples proteção da cultura contra a chuva ou a radiação solar (nesse caso, chamado de “efeito guarda-chuva”) e contra pragas. Em uma segunda etapa, ele inclui o uso de técnicas de produção, como a fertirrigação, a hidroponia e o uso de substratos especiais. Além disso, o cultivo protegido pode designar o uso de estufas agrícolas com o controle de clima.



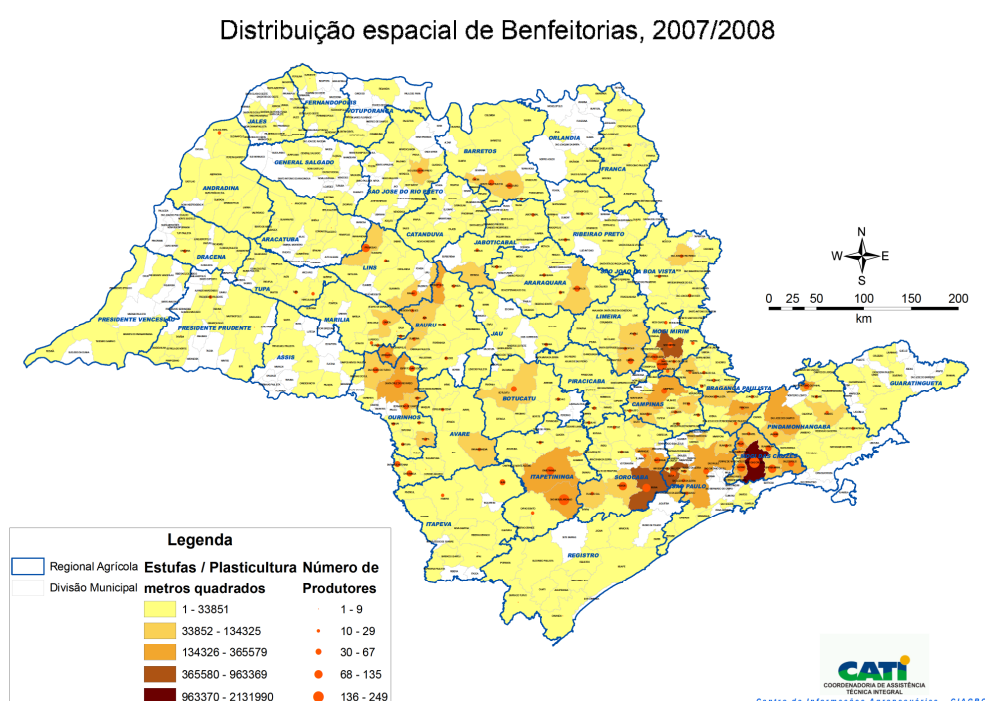
**A** - micro-túnel, **B** - grande túnel marca TUNNEL PRO – HARNOIS, **C** - Estrutura individual modelo OVALTECH – HARNOIS, **D** - estrutura de madeira individual, **E** - casa de vegetação modelo CASA VERDE – HARNOIS, **F** - Sistema hidropônico tipo NFT dentro de ambiente protegido.  
Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 48 - Exemplos de tipos de cultivo protegido**

## Plasticultura

A plasticultura inclui os micro-túneis, grandes túneis e estufas agrícolas simples dos mais variados tamanhos e aplicações. O objetivo é proteger a cultura da chuva, geadas, ventos, granizo e, eventualmente, dos insetos e outras pragas. Em climas frios, é empregada para avançar o calendário agrícola desde a sementeira e estender as colheitas até o fim do outono. No cultivo de frutas como o morango, o uso de micro-túneis permite a colheita antecipada e protege os frutos das chuvas. Na produção de uvas de mesa, em regiões com forte pluviosidade, já é comum o uso de "guarda-chuvas" sobre as parreiras para preservar a qualidade das frutas.

A grande maioria das estufas no Brasil apresenta baixo nível tecnológico (Figura 48). Salvo raras exceções, elas se caracterizam mais como uma estrutura para proteção das chuvas ou da luz intensa, com o uso da hidroponia, mas sem controle climático.



FONTE: CATI (2008)

**Figura 49 - Distribuição das estufas no Estado de São Paulo**

O Estado de São Paulo, segundo a CATI (2006), conta com 1.450 hectares de estufas concentradas nas regiões em torno da grande São Paulo (Mogi das Cruzes, Atibaia, Ibúna) e, naturalmente, na região de Holambra, onde se concentram as estufas com maior nível tecnológico (Figura 49).

## A hidroponia

O interesse comercial pela cultura hidropônica iniciou-se concretamente em 1925 com os trabalhos experimentais de W.F. Gerick, na Califórnia (MARTINEZ, 2005). Em 1965, ao mesmo tempo em que se iniciava nos mercados a introdução de filmes plásticos para o cultivo de plantas em estufas agrícolas, Allen Cooper, em Littleham, na Inglaterra, desenvolveu a técnica que ficou mundialmente conhecida como

**Nutrient Film Technique** ou **NFT**. Nesta, uma solução nutritiva flui em forma de filme sobre uma superfície na qual o sistema radicular das plantas permanece parcialmente submerso e onde estão dissolvidos todos os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento.

Atualmente, diferentes métodos de produção hidropônica estão disponíveis para diversas aplicações e distintas culturas como o gotejamento, em piscinas (*raft floating*), aeroponia, entre outros. É importante notar que a plasticultura, independentemente do tipo de sistema hidropônico adotado, é influenciada pelas condições climáticas externas. Sem uma gestão adequada, pode gerar problemas ainda maiores que o cultivo em campo aberto. A falta de conhecimento e o uso de estruturas muito simples e equipamentos hidropônicos não adequados em períodos do ano e regiões não compatíveis contribuíram para que houvesse uma visão negativa do cultivo protegido pelos agricultores no Brasil.

O controle do ambiente ou climatização permite controlar as condições ambientais dentro das estufas e facilitar a operação destas. Embora os investimentos e a necessidade de conhecimento técnico sejam maiores, os resultados são melhores e o risco de perdas reduzido.

### **A estufa climatizada**

O uso do controle climático (controle de temperatura e da umidade relativa), de técnicas de hidroponia e/ou irrigação mais avançadas, de filmes plásticos e telas anti-insetos apropriadas, do enriquecimento de CO<sub>2</sub> e de técnicas de manejo e pós-colheita modernas permitem aumentar drasticamente os rendimentos agrônômicos dentro de uma estufa agrícola.

O controle climático dentro de uma estufa permite manter as temperaturas e a umidade relativa dentro dos níveis necessários para o desenvolvimento ótimo das plantas, independentemente das condições meteorológicas externas.

O uso de sondas e de computadores apropriados permite, além disso, a integração de todos os dados a fim de otimizar o clima, a irrigação e os tratamentos culturais, segundo o estado fisiológico da planta e os objetivos de produção requeridos.



FONTE: DA SILVA (2010).

**Figura 50 - Comparação de 3 tecnologias de estufas: uma estrutura de madeira com plástico cultivado no solo, estufa de vidro com aquecimento e cultura em substrato e uma estufa com controle ambiental completo**

Uma estufa de alto rendimento tem o objetivo de maximizar a luz solar no processo de fotossíntese. O controle da temperatura e da umidade relativa do ar são fundamentais para a otimização da absorção solar. Para o resfriamento do ar, as estufas modernas apresentam normalmente um design que otimiza o processo de ventilação natural ou utilizam sistemas de resfriamento evaporativo. Modelos mais modernos, chamados *closed greenhouses*, desenvolvidos na Holanda, já apresentam unidades de resfriamento com bombas de calor (KLAPWIJK, 2009). Para o aquecimento do ar, utilizam-se trocadores de calor passivos com água quente (55 à 65°C) ou aquecedores de ar (diferencial de 10 à 20°C), mostrados na Figura 51.



Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 51 - Sistemas de aquecimento a água quente e a ar quente.**

Filtros solares incorporados no revestimento externo das estufas, sistemas de nebulização, cortinas térmicas (internas ou externas) e sistemas de ventilação horizontal (HAF) são exemplos de outros equipamentos usados para o controle do clima dentro de uma estufa moderna.

O mercado mundial de hortaliças e frutas produzidas em estufas se concentra ainda em alguns poucos produtos de alto valor agregado: alface, melão, ervas finas, espinafre, tomate, pepino, pimentão, berinjela, morango, framboesa, amora, melão, feijão-vagem e abobrinha. A Tabela 46 apresenta a distribuição mundial de estufas, incluindo a tecnologia de grandes túneis, segundo o tipo de revestimento. As estufas com revestimento de vidro são tradicionalmente utilizadas em locais com pouca luminosidade ou para pesquisa, mas apresentam um custo de instalação muito maior em comparação com as estufas revestidas de plástico. Atualmente, os novos plásticos, incluindo os policarbonatos com aditivos especiais, permitem obter resultados competitivos como os do vidro.

**Tabela 46 - Área mundial em hectares de estufas agrícolas**

<b>Região</b>	<b>Estufas e grandes túneis em plástico</b>	<b>Estufas em vidro</b>	<b>Total</b>
Europa ocidental	140 000	29 000	169 000
Europa oriental	25 000	1 800	26 800
África	27 000	600	27 600
Oriente Médio	28 000	13 000	41 000
América do Norte	11 850	1 350	11 200
América Central e do Sul	12 500	N/D	12 500
Ásia e Oceania	450 000	2 500	452 500
<b>TOTAL</b>	<b>694 350</b>	<b>48 250</b>	<b>740 600</b>

Fonte: Giancomelli et al (2007)

Do total apresentado na Tabela 46, existe aproximadamente a mesma quantidade de hectares em estufas e túneis de plástico com baixo nível tecnológico. Na Europa, destaca-se a região de Almeria, no sul da Espanha, com 20.000 ha de túneis. Já África e Oriente Médio possuem 112.000 e a China 600.000 hectares. Nos EUA, encontram-se 15.000 hectares de túneis e no México por volta de 4.500 hectares (HEUVELINK, 2005). As principais vantagens e inconvenientes do cultivo protegido são apresentados na Tabela 47.

**Tabela 47 - Principais vantagens e desvantagens do cultivo protegido**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Comentários</b>
Produção na entressafra	Investimento alto	O uso intensivo de tecnologia e equipamentos aumenta o custo inicial, mas não necessariamente o retorno sobre o investimento.
Produção de espécies que necessitam de condições controladas	Necessidade de conhecimento técnico e de mão-de-obra especializada	O controle das condições climáticas dentro da estufa e o manejo adequado são fundamentais para o sucesso do projeto. Porém, a mão-de-obra especializada representa em torno de 3% do total de mão-de-obra necessária.
Aumento da produtividade e qualidade dos produtos	Competição com os produtos obtidos em campo em cultura tradicional	Os produtos de cultura tradicional podem ter preços competitivos em certos períodos. É preciso agregar valor ao produto (embalagem, limpeza, rastreamento, entre outros).
Melhor controle de pragas e doenças	Controle climático e monitoramento contínuo obrigatórios	O uso de tecnologias de controle biológico e de monitoramento permite a produção com um mínimo de agroquímicos ou isentos.
Proteção da cultura contra a chuva, umidade, granizo, geadas e ventos	Instalações adequadas construídas segundo as normas para resistirem aos fenômenos meteorológicos locais.	O controle ambiental permite à produção ficar independente das condições meteorológicas garantindo a oferta do produto durante todo o ano.
Fixação do homem no campo	Exige a disponibilidade de mão-de-obra 7 dias por semana todo o ano	As estufas agrícolas são intensivas em mão-de-obra (em média 10 a 15 pessoas por ha); o uso da mão-de-obra feminina é geralmente bem acolhido, assim como o emprego de deficientes físicos.
Produtos diferenciados e de nicho	Falta de diferenciação do produto no mercado	O brasileiro está começando a diferenciar os produtos e buscar mais qualidade pelo mesmo preço.

Fonte: adaptado de SANTOS (2009) e DA SILVA (2010)

### **O exemplo do tomate no Brasil e no mundo**

Neste estudo, foi escolhido o exemplo do tomate a fim de comparar os diversos aspectos da produção convencional e em estufas agrícolas, assim como o modelo de integração com as Usinas de Bioetanol.

Hoje a indústria da produção do tomate representa provavelmente o melhor exemplo do desenvolvimento da produção intensiva em estufas agrícolas no mundo. O volume de informações e dados disponíveis nos permite fazer modelos, comparações e estudos entre diferentes tecnologias de cultivo.



Nas últimas 4 décadas, a produção mundial de tomates cresceu mais de 300% e, em 2005, foi estimada pela FAO (2000) em 123 milhões de toneladas, cobrindo uma superfície de 4,5 milhões de hectares.

O mercado de tomate é dividido em dois segmentos: o industrial e o tomate de mesa *in natura*, que representa em torno de 50% do volume comercializado. A Tabela 48 apresenta a produção, área e o rendimento médio para o Brasil e outros países.

**Tabela 48 - Principais produtores de tomate do mundo**

<b>País</b>	<b>Produção (10<sup>6</sup> ton)</b>	<b>Área cultivada (10<sup>3</sup> ha)</b>	<b>Rendimento médio (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Mundo	122,7	4161	2,95
China	31,6	1305	2,42
EU-25	16,9	289	5,85
USA	11	167	6,59
Turquia	9,7	260	3,73
Índia	7,6	540	1,41
Egito	7,6	195	3,90
Itália	7,2	139	5,18
Espanha	4,5	70,4	6,39
Irã	4,2	130	3,23
<b>Brasil</b>	<b>3,3</b>	<b>58,4</b>	<b>5,65</b>
México	2,15	67,1	3,20

Fonte: Adaptado de COSTA et al. (2007)

A

Tabela 49 mostra o rendimento médio, exclusivamente em estufas agrícolas para diversos países. É importante notar que os rendimentos médios de 54,4 kg/m<sup>2</sup> na Holanda e 48,9 kg/m<sup>2</sup> no Canadá são obtidos graças ao uso intensivo de tecnologia, inclusive a luz artificial. Rendimentos de algumas empresas podem chegar facilmente a 65 kg/m<sup>2</sup>. No México, a superfície de estufas inclui muitas estufas de baixa tecnologia, mas existem exemplos de projetos com rendimentos de 65 kg/m<sup>2</sup> na região Central do território mexicano e até 82 kg/m<sup>2</sup> foram registrados no Projeto de Nuevos Casas Grandes no deserto de Chihuahua (GALLEGOS et al., 2009).

**Tabela 49 - Rendimentos médios de produção de tomates em estufas**

País	Produção estimada (ton)	Área (ha)	Rendimento médio (kg/m <sup>2</sup> )
Holanda	735.000	1350	54,4
Canadá	220.000	450	48,9
USA	160.000	330	48,5
Nova Zelândia	40.000	150	26,7
México	238.000	1400	17,0
Japão	780.000	13000	6,0
Coreia do Sul	270.000	4700	5,7

Fonte: adaptado de HEUVELINK (2005)

O rendimento médio de produção de tomate em estufas na Holanda é 10 vezes maior que o rendimento médio da produção de tomate em campo aberto no Brasil, exemplo este do imenso potencial deste tipo de cultivo intensivo.

No mercado de estufas agrícolas, destacam-se os tomates de especialidade com melhores preços, como o tomate em vinha (TOV), tipo salada, italiano e, mais recentemente, os tomates cereja, pera e tipo *sweet grape* com cores vermelhas, alaranjadas, amarelas e teores bastante elevados de açúcar. No Brasil, a empresa SAKATA vem desenvolvendo um trabalho muito interessante de introdução da sua variedade *sweet grape* exclusivamente para a produção em cultivo protegido, com programas de assessoria técnica e garantia de compra, o que acabou revolucionando todo o mercado. O valor médio pago para um produtor é de R\$4,00/kg para um ciclo de 20 a 25 kg/m<sup>2</sup> (DA SILVA 2010). Outras empresas já estão entrando no mercado com produtos similares, não só o tomate, mas também outras espécies como pepinos, berinjelas, alfaces, entre outras. O Brasil segue, portanto, o modelo de desenvolvimento empregado em outros países em modo acelerado e com um potencial de crescimento do tamanho de sua população.

### **1.4.1.3 Tendências para 2020 no Mercado da Alimentação no Brasil**

#### **O consumo do mercado de alimentos no Brasil**

Segundo COSTA (2010), os principais fatores que influenciam o consumo de alimentos são: o crescimento da população, a urbanização, a estrutura etária e familiar (assim como a posição da mulher no mercado de trabalho), a renda, a educação, a informação e o intercâmbio cultural.

No mundo e especialmente no Brasil, estes fatores estão de uma maneira ou de outra influenciados pelo forte crescimento da demanda e de novos produtos. De 2,53 bilhões de pessoas em 1950, o mundo espera atingir 7,73 bilhões até 2020. O peso das nações, ditas emergentes e com grandes populações, como a China e a Índia, é capaz de influenciar o cenário econômico e produtivo mundial. Para ilustrar esta medida, vale citar o exemplo do "quilo chinês e indiano" para a carne: "o aumento de 1 quilo do consumo per capita de carne bovina nos dois países

*resultaria na imediata necessidade de incremento das exportações mundiais em 34%” (COSTA, 2010).*

Estima-se ainda que, em 2010, a população mundial torne-se majoritariamente urbana, fato ocorrido no Brasil na década de 60 (para a China em 2015). Esta mudança exigirá uma demanda ainda maior por alimentos no mundo todo.

Quanto à estrutura etária da população, o Brasil segue o modelo mundial de envelhecimento: a idade média passará de 29, em 2009, a 33,6, em 2020, com mais de 63,5% da população acima dos 25 anos. A taxa de crescimento da população em 2015-2020 será de 0,6%, a taxa de natalidade de 1,29% (com uma média de 1,6 filhos por mulher) e uma expectativa de vida de 74,8 anos comparada a 72,3 entre 2005 e 2010. Estas modificações alteram definitivamente os hábitos e padrões de consumo, ganhando ainda mais força com a variação da renda disponível, como veremos a seguir.

A renda per capita no Brasil vem crescendo desde 1980 a uma taxa de 0,8% ao ano. Estima-se que esta taxa passará a 2% na próxima década. Um estudo feito pelo Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), citado em COSTA (2010), mostrou que, de 1996 a 2008, os grupos de menor renda aumentaram sua participação em até 52% na renda total do país, enquanto o grupo com maior renda diminuiu sua participação em 9%. Em termos absolutos, o poder de compra da população aumentou em 78% para os estratos de menor renda para o mesmo período.

Por outro lado, a pesada estrutura fiscal do Brasil penaliza as classes de menor renda. No País, o ICMS para o setor de alimentos possui uma alíquota média de 16%, enquanto nos EUA é quase zero e na UE é de 5% (FIESP, 2008). Uma possível e esperada redução desta carga fiscal induzirá ainda mais o consumo de alimentos.

O aumento da renda, em um primeiro momento, interfere quantitativamente na demanda por alimentos. Além disso, em um segundo momento, induz uma mudança qualitativa em termos de seleção dos alimentos. No primeiro estágio de renda, a dieta é mais restrita a fontes nutricionais menos custosas, como cereais, açúcar e produtos básicos processados. A medida que a renda aumenta, a procura por alimentos mais complexos e industrializados cresce e passam a ser incorporados o leite e seus derivados, as carnes de aves e outras fontes de proteína animal, como as carnes suínas e bovinas.

Os produtos hortícolas e frutas estão intimamente ligados a uma maior disponibilidade de renda e próximos a uma atitude de consumo que transcende à mera busca de elementos nutritivos (COSTA, 2010). As faixas de renda mais altas buscam na alimentação conceitos de sustentabilidade da produção, boas práticas, preservação e respeito ao meio ambiente, produtos com baixos teores de resíduos químicos, regionalização e controle de origem, entre outros. Uma pesquisa do IBGE, citada em COSTA (2010), mostra uma variação de 88,7% do perfil de consumo de hortaliças entre grupos com renda de R\$ 600 e de R\$3.000, compondo quase 10% da cesta de produtos.

Aliado à questão da renda, o nível de educação e cultura da população no Brasil (11,4% de analfabetismo) interfere na demanda por alimentos. O País possui um potencial grande de melhora destes índices, o que pressupõe um impacto na demanda por alimentos ainda maior no futuro. O acesso à informação, à internet

(37% da população do Brasil em 2008), ao intercâmbio cultural com o aumento de viagens e de turistas, a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016 terão um papel preponderante na mudança de hábitos e na demanda por alimentos.

A indústria de alimentos deve estar atenta a todas estas mudanças e o desafio não será somente produzir mais alimentos, mas também como atender um consumidor cada vez mais crítico e atento em relação ao produto e às condições em que ele foi produzido.

### **O consumo de frutas e hortaliças no Brasil**

O brasileiro consome em média 57 kg/ano em frutas (COSTA, 2007), o que equivale à média mundial dos países desenvolvidos. No entanto, o brasileiro apresenta um consumo próximo dos 40 kg/habitante por ano (VILELA, 2000) no que diz respeito às hortaliças (sem contar o consumo de batata), como mostra a Tabela 50. As razões para este baixo consumo devem-se à instabilidade da oferta, à baixa qualidade dos produtos em geral e ao custo relativamente elevado dos produtos olerícolas comparados com outros alimentos.

Quanto ao consumo de frutas e hortaliças hidropônicas produzidas em estufas, o percentual é ainda muito baixo, concentrando-se em hortaliças como o alface e outras plantas folhosas condimentares. As grandes redes de supermercado oferecem a estes produtos bons espaços para venda, mas na grande maioria sem uma apresentação (embalagem) que preserve e valorize o produto. O resultado é, sobretudo, no caso de folhosos hidropônicos e produzidos em estufa, vendidos a preços sensivelmente similares aos dos produtos de cultivo convencional.

Os produtos hidropônicos, de estufa e orgânicos competem em um nicho no mercado, sem ter uma distinção clara sobre as vantagens e ganhos de cada um. Na verdade, pode-se produzir hoje em estufas produtos hidropônicos sem pesticidas e com uma qualidade excepcional que podem competir em preço e em qualidade com produtos ditos orgânicos (DA SILVA 2010).

**Tabela 50 - Consumo mundial per capita de legumes e frutas (em kg)**

<b>Região</b>	<b>Legumes (kg/hab.ano)</b>	<b>Frutas (kg/hab.ano)</b>
África	53,3	53,9
América do Norte	101,2	118,6
<b>América do Sul</b>	<b>47,5</b>	<b>120,2</b>
Ásia	125,6	45,5
Europa	114,4	82,8
Oceania	99,2	109,1
Mundo	108,2	61,6

Fonte: FAO (2000)

Nos países desenvolvidos onde a comercialização é bastante avançada, são as próprias redes de supermercado que impõem aos produtores as normas de qualidade, salubridade e de embalagem. No Brasil, 88% das frutas e hortaliças já são comprados em supermercados (MATHIAS, 2006) por consumidores de média e alta renda. Este fato permitirá que, no futuro, o setor se desenvolva rapidamente para atingir as normas internacionais.

### **As tendências da alimentação brasileira para a próxima década**

O brasileiro atual caracteriza-se por ser um consumidor cada vez mais informado e em busca de novos produtos, de qualidade e com a capacidade de alterar hábitos que outrora não conseguiria mudar tão rapidamente.

BARBOSA (2010), baseado em estudos feitos no exterior, e uma pesquisa do mercado brasileiro (realizada pelo IBOPE em 2009-2010) estabeleceram 5 categorias de exigências e tendências dos consumidores, as quais são apresentadas a seguir:

#### **Sensorialidade e Prazer**

- Relacionadas com o aumento do nível de educação, informação e renda;
- Caracterizam-se pela arte culinária e a experiência gastronômica do consumidor;
- Manifestam-se através de receitas regionais, étnicas, novas texturas e sabores;
- Valorizam a socialização em torno da alimentação (em casa como no restaurante);
- Ganham força os circuitos gastronômicos e o agroturismo;
- Consumo de produtos de maior valor agregado - "Gourmet" e "Premium";
- Os produtos devem ser mais "saborosos" e mais "saudáveis".

#### **Saudabilidade e Bem-estar**

- Relacionadas ao envelhecimento da população e às descobertas científicas que relacionam dietas a doenças ou à prevenção destas;
- Relacionadas igualmente à renda e à urbanização;
- Caracterizam-se pela busca de uma vida mais "saudável";
- São os produtos funcionais, de dieta, de controle do peso e dos produtos "naturais" (sem aditivos químicos ou pesticidas) que se sobrepõem aos produtos orgânicos;
- Produtos vegetais e minimamente processados (frutas, hortaliças, flores e plantas medicinais) – consumidores da classe A;
- São também os produtos energéticos e benéficos ao desempenho físico e mental (cardiovascular, sexual, relaxantes) e à estética;

- São os produtos da linha “light”, “diet” e mais recentemente com “calorias negativas” e “bloqueadores de apetite”.

### **Conveniência e Praticidade**

- Relacionadas à urbanização e ao ritmo de vida moderno das famílias;
- Produtos que permitam a economia de tempo e a redução de esforço dos consumidores;
- “Ready to eat”, embalagens de fácil abertura e fechamento, descartáveis, refeições semi-prontas e prontas, alimentos de fácil preparo, preparo no microondas e os serviços e produtos de entrega;
- Porções pequenas com os produtos tipo “snakers”, “finger foods”, embalagens individuais e para o consumo fora de casa e em trânsito (no carro, na escola, no trabalho, entre outros);
- Os produtos devem ser “saudáveis” como as bebidas naturais, snacks de vegetais, iogurtes, entre outros.

### **Confiabilidade e Qualidade**

- São produtos seguros e de qualidade atestada (certificações de origem, qualidade, etc);
- Os consumidores exigem rastreabilidade, segurança alimentar e a rotulagem informativa;
- A credibilidade da marca é um fator importante nesta categoria;
- São produtos e serviços padronizados.

### **Sustentabilidade e Ética**

- Consumidores preocupados com o meio ambiente e causas sociais;
- Conceitos de “food miles”, “pegada de carbono”, “fairtrade”, impacto ambiental, maus tratos aos animais, rotulagem ambiental;
- Embalagens recicladas e recicláveis.

No Brasil, as tendências relacionadas à sustentabilidade e à saudabilidade estão confundidas em uma só categoria. A

Tabela 51 mostra como se dividem no mercado nacional e algumas características dos consumidores relacionados a elas.

Outro dado interessante é o fato do brasileiro realizar na média 4,5 refeições (café da manhã e almoço) por semana fora de sua residência, sendo que os restaurantes por quilo representam 27% dos locais mais frequentados por esta clientela, seguidos pelos fast foods e lanchonetes (19%), restaurantes (18%) e padarias (18%).



**Tabela 51 - Influência em porcentagem das tendências na compra de produtos no Brasil**

<b>Tendências</b>	<b>%</b>	<b>Comentários</b>
• Conveniência e Praticidade	34	Participação masculina maior
• Confiabilidade e Qualidade	23	Participação feminina maior – 23% da população lê os rótulos sempre!
• Sensorialidade e Prazer	23	Sabor antes da saúde! Segue o perfil demográfico da sociedade
• Sustentabilidade e Ética e Saudabilidade e Bem-estar	21	Categoria com maior potencial de crescimento, com forte concentração na classe C, casada e com destaque a região Nordeste do país. Mais de 50% da população brasileira considera-se informada em relação aos significados dos selos de garantia e da definição de produtos orgânicos!

FONTE: BARBOSA (2010)

A principal vantagem dos produtos industrializados, percebida em todos os segmentos sociais, é a praticidade. Para a compra de produtos industrializados, a marca representa 59% das razões citadas pelos consumidores (o que pode, para a maior parte deles, assegurar a qualidade dos produtos), seguida pelo sabor (47%) e por serem nutritivos (32%) (BARBOSA, 2010). Estes resultados são importantes, pois podem ser comparados à comercialização de frutas e hortaliças *in natura* ou semiprocessados.

A mesma pesquisa de mercado demonstrou que os principais fatores determinantes na compra de um produto serão: a confiança na marca (42%), o sabor (31%), ser nutritivo e adicionado de vitaminas (42%), ser de qualidade (35%), ser barato (23%), ter menos agrotóxicos (29%) e ter menos conservantes (33%).

Uma pesquisa da Mintel (BARBOSA, 2010) sobre a nutrição nos EUA revelou que 37% dos consumidores americanos entrevistados procuraram melhorar a saudabilidade de sua dieta, em relação ao ano anterior, incrementando o consumo de vegetais em 64% e de frutas em 51%. Nesta linha, o mercado dos minimamente processados ("fresh cut"), tais como saladas pré-lavadas e embaladas prontas para o consumo, aparentam ser os mais saudáveis sob a ótica dos consumidores. O "frescor" é para dois terços dos americanos um dos fatores mais importantes, assim como a isenção de hormônios e antibióticos, o natural e o orgânico. Um novo termo já está sendo utilizado para identificar estes produtos: **"functional fresh"** - criado para conceituar esse forte desejo por funcionalidade e pureza nos produtos alimentícios.

Sem dúvida, em um contexto de produção intensiva e de comercialização direta, como é o caso dos produtos de estufas agrícolas modernas, a forma, a marca e a publicidade determinarão o sucesso comercial da empresa, pois estes produtos têm que competir com produtos industrializados presentes no mercado há muito tempo. Um bom exemplo de empresas agrícolas que se especializaram na comercialização de produtos de estufas é a Mastronardi no Canadá. Esta empresa, que começou como um pequeno produtor de flores na região de Niagara Falls, hoje produz e

comercializa em torno de US\$ 300 milhões de produtos exclusivamente de origem de cultivo protegido. Uma grande parte de sua produção vem de parcerias com estufas na região central do México.

Fato interessante na pesquisa de mercado realizada é notar que o preço do produto tem uma importância menor do que poderia se esperar. Atualmente, os produtores rurais, pela estrutura de comercialização tradicional dos Ceasas e feiras livres, têm pouca condição de controlar os preços.

Os resultados de uma outra pesquisa, realizada pela FNP Consultoria e citada em VILELA (2000), traduzem uma mudança significativa na apresentação das hortaliças no varejo. Observam-se produtos selecionados e embalados em bandejas de isopor, recobertas com filmes plásticos, identificados com códigos de barra e prazo de validade (Figura 52). Apesar de serem mais caros que as hortaliças a granel, a qualidade é superior e reduzem-se drasticamente as perdas durante a comercialização, além de manter adequadamente a aparência e qualidade dos produtos. Dentro deste âmbito, 2/3 dos supermercados já fazem contratos de aquisição diretamente com produtores, exigindo destes uma escala de produção adequada à demanda, produtos especializados, oferta contínua e um compromisso de prazos, dias e até horários de entrega.



Figura 52 - Exemplos brasileiros de produtos de cultivo protegido.

Outros exemplos de potencial de mercado para a indústria de frutas e hortaliças são os alimentos ditos "snacks". Esta categoria de alimentos abrange uma variedade enorme de produtos, entre lanches, refeições leves, petiscos, salgadinhos, salgados e frutas em pedaços. Os "snacks" possibilitam o consumo em diferentes lugares e momentos, proporcionando uma redução do tempo de consumo ou eliminação da necessidade de utensílios tradicionais, permitindo a individualização do consumo. São exemplos de produtos os "blueberries" e, de maneira geral, todos os "berries" (as pequenas frutas reconhecidas pelos valores nutritivos), morangos, framboesas, os tomates tipo cereja, mini-pepinos, entre outros. O desenvolvimento de novas variedades e embalagens aliadas à publicidade abrem as portas para um mercado enorme ainda pouco explorado no Brasil.

#### **1.4.1.4 Integração Usina de Bioetanol e Estufa Agrícola (UB-EA)**

O uso intensivo de energia e os custos crescentes para o aquecimento de estufas na América do Norte devido aos rigores do clima favoreceram a integração destas com outros setores da economia. Nos EUA, algumas estufas agrícolas estão em operação usando energia térmica residual de termoeletricas. Outras utilizam o CO<sub>2</sub> e a energia térmica residual de destilarias, como é o caso da destilaria Archer-Daniels-Midland (ADM) em Decatur, Illinois, descrito por GLADON (2008).

Outro exemplo importante é a usina nuclear de Chinon, uma das mais antigas da França, na região de Avoine, que fornece a energia térmica para um complexo de estufas agrícolas de 10 ha.

A

Tabela 52 apresenta alguns exemplos de integração de estufas agrícolas com outras atividades industriais nos EUA, Canadá e Europa.

**Tabela 52 - Exemplos de integração de estufas agrícolas com outras indústrias na América do Norte e Europa**

<b>Nome</b>	<b>Região</b>	<b>Descrição</b>
Grand Rapids Greenhouse Complex	Grand Rapids, Minnesota	5,7 ha para a produção de mudas de coníferas usando energia residual de uma termoelétrica.
Beckers Greenhouse Complex	Becker, Minnesota	Produção de flores de corte através do uso de rejeitos térmicos de uma termoelétrica.
N/D	Sandy, Utah	Produção de rosas de corte utilizando energia geotérmica.
Bryfogle's	Pennsylvania	Produção diversificada de alface (0,4 ha), tomate (2 ha) e plantas ornamentais (2 ha) utilizando energia residual da termoelétrica Pennsylvania Power and Light.
Hydrofarm	Decatur, Illinois	4 ha para produção de alface tipo Boston utilizando energia térmica e CO <sub>2</sub> da destilaria ADM (Archer-Daniels-Midland). A produção atingiu 30.000 alfaces por dia.
Len Busch Roses	Plymouth, Minnesota	Utiliza resíduos de produção de madeira como biocombustível no aquecimento das estufas.
N/D	Rifle, Colorado	Utilizava energia residual de uma termoelétrica. Não está mais em operação.
N/D	Brush, Colorado	15,8 ha de tomate hidropônico utilizando energia térmica de uma termoelétrica.
Mr. Aarie van Wingerden	Fort Lupton, Colorado	16,2 ha de tomate hidropônico utilizando energia térmica de uma termoelétrica.
Rutgers Eco-Complex	Bordentown, New Jersey	Projeto para 16,2 ha de estufas utilizando a energia elétrica e térmica de uma termoelétrica movida à metano (biogás) recolhido de um aterro sanitário. A usina tem uma potência instalada de 7 MW de eletricidade.
Jardins Nature	New Richmond, QC, Canada	2 ha de tomate orgânico. Projeto começou com o uso da energia térmica residual de uma usina de pasta de papel (Smurff-Stone), mas com o fechamento desta a empresa instalou sua própria caldeira à biomassa (resíduos florestais).
Savoura	Saint Étienne, QC, Canada	Complexo de 5 ha de estufa para produção de tomates utilizando o biogás de um aterro sanitário municipal adjacente.
Les serres Sagami	Rimouski, QC, Canada	3 ha de estufas de tomate utilizando a energia térmica residual com bombas de calor de uma fundição de alumínio Elkem Métal Canada Inc.
Les Jardins de Rabelais	Chinon, França	10 ha de produção de tomate utilizando a energia térmica da usina nuclear de Chinon (Avoine)

Fontes: Adaptação de GLADON (2008) e DA SILVA (2010)

O Brasil ainda não conta com nenhum projeto de importância na recuperação de energia térmica e de CO<sub>2</sub> residuais para uso em estufas agrícolas.

## **Avaliação dos aspectos da integração UB-EA**

A lista dos aspectos relevantes da integração UB-EA são resumidos na Tabela 53 e detalhados nas seções seguintes.

**Tabela 53 - Aspectos relevantes na integração das estufas agrícolas com as usinas de bioetanol**

<b>Aspectos</b>	<b>Impacto</b>
Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor aproveitamento dos balanços de massa e energia das destilarias;</li> <li>• Aproveitamento ou integração da mão-de-obra local;</li> <li>• A produção de frutas e hortaliças em estufas pode liberar espaço para outras culturas;</li> <li>• Aumento significativo do rendimento agrônômico.</li> </ul>
Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apesar de custos de produção superiores ao convencional, os produtos de estufa têm uma margem maior devido ao preço de mercado maior e sua estabilidade;</li> <li>• Os custos de instalação para recuperação do CO<sub>2</sub> e do calor residual da vinhaça em uma usina são marginais comparados com o investimento do projeto total das estufas;</li> <li>• Substitui as torres de resfriamento para vinhaça.</li> </ul>
Comerciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vendas de até R\$ 1.000.000,00 por ha por ano;</li> <li>• Produção de produtos de qualidade superior e sem agroquímicos;</li> <li>• Possibilidade de venda de créditos de carbono;</li> <li>• Receitas adicionais às usinas de bioetanol.</li> </ul>
Sociais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de empregos diretos e permanentes da ordem de 10 a 15 pessoas por hectare;</li> <li>• Uso de da mão-de-obra feminina e deficiente físicos.</li> </ul>
Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do uso de fertilizantes e agroquímicos ;</li> <li>• Fixação do carbono;</li> <li>• Uso da vinhaça como fertilizante.</li> </ul>
Corporativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora da imagem corporativa das usinas e da indústria alcooleira em geral, que passam a ser produtoras de uma fonte de alimento, além de gerar novos empregos.</li> </ul>

### **Aspectos técnicos da integração UB-EA**

- **Sequestro de CO<sub>2</sub> da fermentação**

O enriquecimento em CO<sub>2</sub> do ar ambiente das estufas agrícolas (de 350 ppm até 2000 ppm) pode aumentar o rendimento fotossintético de até 30% segundo as culturas e as variedades utilizadas. GIACOMELLI (2008), reconhecido como uma autoridade americana na área de estufas agrícolas, cita que o uso do CO<sub>2</sub> produzido nas dornas de fermentação em estufas agrícolas modernas é um "fertilizante gasoso" que aumenta o rendimento agrícola das hortaliças em até 30%.

O uso adequado do CO<sub>2</sub> aumenta também a qualidade das plantas e frutos. De maneira geral, em uma estufa comercial, o enriquecimento em CO<sub>2</sub> se faz em função do tipo de cultura e do manejo realizado e, naturalmente, do custo do gás carbônico disponível (líquido ou gás natural).

O gás carbônico proveniente das dornas de fermentação é, geralmente, lavado para recuperar o bioetanol arrastado e liberado na atmosfera na ordem de 0,760 kg/litro de bioetanol anidro produzido (BNDES, 2008).

Nas usinas com dornas de fermentação abertas, o CO<sub>2</sub> não é aproveitado, sendo, portanto, liberado diretamente na atmosfera (Figura 53). Quando as dornas de fermentação são fechadas, possibilitam-se a captação e a lavagem dos gases com o objetivo de recuperar etanol evaporado durante a fermentação, diluindo-o na água de lavagem e retornando esta água em aval do processo. No entanto, o fechamento das dornas de fermentação necessita de alguns cuidados técnicos suplementares, pois aumenta o risco de contaminação da solução devido à condensação dos vapores na parte superior das dornas.



Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 53 - Fotos de dornas de fermentação abertas e fechadas**

A torre de lavagem lança na atmosfera os gases lavados sem outro tratamento sendo, portanto, tecnicamente possível adaptar um sistema de sucção e bombeamento destes gases para outros usos. O Grupo JB, que possui Usinas de Bioetanol em Pernambuco e no Espírito Santo, se especializou na recuperação, purificação e liquefação do CO<sub>2</sub> presente nos gases de fermentação. A empresa CarboGaz, pertencente ao Grupo JB, fornece assim CO<sub>2</sub> para distintas aplicações industriais e comerciais a preços competitivos.

Neste processo, o gás CO<sub>2</sub> proveniente das dornas de fermentação é transportado para a unidade de recuperação onde será separado da espuma, lavado e pressurizado para eliminação de álcoois e outras impurezas. A eficiência da unidade de lavagem assegura o baixo consumo de água e uma perda de carga desprezível. O gás passa em seguida por um separador de líquido para eliminar possíveis gotas do líquido arrastadas e, antes de ser enviado ao compressor, é armazenado em reservatório pressurizado a fim de amortecer as flutuações de fluxo e reduzir as paradas e partidas do compressor. Na saída do compressor, o CO<sub>2</sub> comprimido passa através de um leito de peneiras moleculares e diferentes filtros com o objetivo de eliminar toda umidade e impurezas antes de ser enviado ao condensador. O CO<sub>2</sub> purificado é então enviado ao condensador, onde os vestígios de gases incondensáveis misturados no CO<sub>2</sub> permanecem no estado gasoso, enquanto o CO<sub>2</sub> liquefeito e puro flui para o tanque criogênico de estocagem. Do tanque de estocagem, o dióxido de carbono pode ser retirado por evaporação e enviado para a linha de consumo.

O custo de instalação de uma usina de liquefação de CO<sub>2</sub> é da ordem de R\$ 10 milhões para uma capacidade de 2 ton/hora (DA SILVA, 2010).

No caso do uso do CO<sub>2</sub> em uma estufa agrícola, instalada próxima a uma usina de álcool, como proposto neste estudo, o CO<sub>2</sub> não precisa ser liquefeito, reduzindo-se consideravelmente os custos de sua utilização.

Outra opção para uma estufa agrícola é a produção de CO<sub>2</sub> utilizando-se um combustível como o gás natural, propano ou biogás. Para aproveitar a energia térmica gerada na combustão, é comum, em projetos de estufa no mundo, o uso de um reservatório de água quente para armazenar a energia térmica liberada durante o dia na geração do CO<sub>2</sub>.

No entanto, independentemente da origem do CO<sub>2</sub>, a qualidade do gás deve ser muito bem controlada para o uso em estufas agrícolas. O CO<sub>2</sub> deve apresentar um mínimo de umidade e ser livre de contaminantes que possam reagir com os distintos estados fisiológicos das plantas. Por exemplo, o nível de dióxido de enxofre deve ser menor que 0,1 ppm (HEUVELINK, 2005). Cabe lembrar que, em uma estufa agrícola, as trocas de ar não se fazem em permanência podendo haver acúmulo de certos contaminantes.



Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 54 - Sistema de purificação e liquefação do CO<sub>2</sub>**

As necessidades de CO<sub>2</sub> de uma estufa agrícola variam segundo a radiação solar (ou artificial) disponível para o processo de fotossíntese. No entanto, o tipo de cultura, a área foliar e o tipo de manejo cultural podem influenciar as necessidades de CO<sub>2</sub> das plantas. Assim, em uma estufa agrícola, deve-se ajustar os níveis de temperatura, umidade relativa do ar e condições de umidade e fertilização no substrato a fim de maximizar o processo de fotossíntese em cada etapa fisiológica das plantas.

Normalmente, o uso de CO<sub>2</sub> em estufas agrícolas está limitado pelo custo do CO<sub>2</sub> e pela necessidade de ventilação das estufas (controle da umidade e de temperatura). Em uma situação em que o custo do CO<sub>2</sub> seja marginal, pode-se imaginar aplicá-lo a doses mais elevadas, mesmo quando há troca de ar. A aplicação de dióxido de carbono se dá no início do período da manhã até o momento em que, devido à radiação solar, as trocas de ar são tão grandes que sua aplicação torna-se não rentável. No entanto, este período coincide com o período



em que a radiação solar é máxima. A aplicação do CO<sub>2</sub> deve ser então realizada do modo mais uniforme possível e próxima da área foliar, ajustando-se os tubos de distribuição. Uma taxa de aplicação de CO<sub>2</sub> de 8 gramas (sem ventilação) e de até 68 gramas (com ventilação) por metro quadrado por hora deve ser o suficiente para manter o nível de CO<sub>2</sub> dentro da estufa acima de 800 ppm (NEDERHOFF, 2000).

- **Uso de energia térmica a baixa temperatura nas estufas agrícolas**

O uso de energia térmica em estufas agrícolas, mesmo em regiões quentes do globo, permite o aumento de no mínimo 20% na produção. Este aumento é decorrente do melhor aproveitamento da radiação solar como no pré-aquecimento da estufa antes do início desta radiação, o que permite às folhas atingirem a temperatura ótima de fotossíntese ao nascer do sol. Caso contrário, as plantas perderiam até duas horas depois do sol nascer para aquecerem a superfície foliar e começarem a fazer a fotossíntese em uma taxa elavada.

As estufas agrícolas necessitam de energia térmica para o aquecimento, para a desumidificação do ar e para a energia de ativação das plantas.

#### *Aquecimento*

Deve-se aquecer o ar ambiente de uma estufa agrícola a fim de repor as perdas de calor por radiação, condução e convecção ao meio ambiente. Em algumas regiões, como no Canadá, é preciso ainda considerar uma energia para derreter a neve acumulada ou o gelo formado sobre as estruturas a fim de permitir a entrada da radiação solar. O aquecimento pode ser feito através do tradicional sistema holandês com tubos radiantes (temperaturas entre 50 °C e 90°C) ou utilizando-se trocadores de calor com ventiladores distribuindo o ar quente (temperaturas de 25°C a 55°C) através de tubos plásticos flexíveis. O sistema de ar quente, além de ser mais barato, permite o uso dos ventiladores sem o aquecimento, auxiliando na convecção do ar através da área foliar.

#### *Desumidificação do ar*

As variações de temperatura e a evapotranspiração foliar aumentam o valor da umidade relativa acima dos níveis ótimos para os processos fisiológicos das plantas. A desumidificação pode ser feita até um certo limite pelo aumento da temperatura do ar interior ou promovendo-se a expulsão por convecção do ar quente e úmido do interior para o exterior da estufa e assim permitindo a entrada do ar seco e frio do exterior. Este processo exige bastante energia dadas as grandes massas de ar quente e úmido movimentadas, representando em determinadas situações até 50% da necessidade de aquecimento de uma estufa agrícola.

#### *Energia de ativação*

Esta energia corresponde à necessidade de acelerar o aquecimento e a transpiração foliar a fim de manter a taxa de fotossíntese a mais alta possível. Usualmente, utilizam-se radiadores posicionados próximos ou no interior das plantas com um nível de temperatura entre 35°C a 65°C, segundo a posição e a cultura. O uso de sistemas de convecção a ar (com ou sem aquecimento) ao nível do solo e de ventiladores de fluxo horizontal nas partes mais altas da cultura auxiliam também na manutenção da superfície foliar em condições adequadas.

### Fontes de Calor e Potência de aquecimento necessárias

A potência e a quantidade de energia térmica necessárias para uma estufa é uma função que depende de vários fatores, entre outros: a variação diária e anual da temperatura, velocidade dos ventos, radiação solar disponível, uso ou não de iluminação artificial, tipo de estrutura e cobertura, uso de cortinas térmicas, tipo de sistema de aquecimento, nível de isolamento, tipo de cultura, calendário de produção e estratégia climática utilizada.

As metodologias de cálculo são, portanto, complexas, não sendo o objetivo deste trabalho o seu detalhamento. Neste estudo, utilizaremos os valores médios para uma produção de tomate em uma região, apresentando a temperatura mínima de 2°C e máxima de 32°C. Para uma estrutura moderna com cobertura de filme de polietileno duplo inflado e uma diferença máxima de 15°C entre o ar interior e exterior, estima-se uma potência máxima instalada de 70 W/m<sup>2</sup> ou 2,5 GJ/h/ha. Nestas condições, o consumo médio anual é de 12,5 GJ/dia/ha, considerando-se uma utilização média de 5 horas diárias do sistema de aquecimento.

Em uma usina de álcool, existem inúmeras fontes de energia disponíveis e que podem ser utilizadas para suprir a demanda de energia térmica de uma estufa agrícola.

**Tabela 54 - Usina padrão para produção de açúcar e álcool**

Parâmetro	Valor
Moagem (t cana/ano)	2.000.000
Moagem horária (t cana/h)	500
Horas de safra (h/ano)	4.000
Teor de fibra da cana (%)	14,0
Pol da cana (%)	14,0
Produção de açúcar (kg/t cana)	65
Produção de etanol hidratado (l/t cana)	40

FONTE: Adaptado de ENSINAS (2008)

Ensinas (2008) analisa uma usina, dita padrão, representando as características comuns a muitas usinas do setor sucroalcooleiro brasileiro, produzindo simultaneamente açúcar e etanol a partir do caldo de cana. A Tabela 54 resume as características desta usina padrão. Nesta, há três grandes sistemas de resfriamento: o primeiro utilizado para as etapas de resfriamento do mosto e das dornas de fermentação, com torres de resfriamento que têm capacidade de fornecer água a aproximadamente 25°C em trocadores de calor de placas, retornando-a a 30°C. O segundo sistema atende as etapas de resfriamento dos condensados gerados nos sistemas de vácuo dos filtros, dos evaporadores e dos cozedores, além da água de resfriamento do etanol e dos condensadores das colunas de destilação e retificação, contando com um sistema de refrigeração do tipo aspersor que reduz a temperatura da água de aproximadamente 50°C a cerca de 30°C. Por último, um sistema composto por torres de resfriamento é utilizado para baixar a temperatura da vinhaça. Baseado nos dados da usina padrão, ENSINAS (2008) determina as principais cargas térmicas de resfriamento, apresentadas na Tabela 55.

Analisando-se os dados da Tabela 55, nota-se que o resfriamento do vinhoto oferece uma potência de aquecimento equivalente a 9% do total de energia térmica disponível na usina e um nível de temperatura compatível (100°C) com as necessidades de aquecimento da estufa agrícola. Além disso, trata-se de uma solução residual presente em todas as usinas de álcool e cuja energia, em muitos casos, ainda é desperdiçada no meio ambiente.

Este estudo concentra-se na análise do uso da energia residual da vinhaça para a análise da integração UB-EA.

**Tabela 55 - Cargas térmicas de resfriamento na usina padrão**

Sub-sistema	Aplicação	Carga térmica (kW)
Lavagem, preparo e extração	Resfriamento de mancais	4646
	Resfriamento do óleo de lubrificação	581
Tratamento do caldo - Açúcar	Resfriamento da sulfitação	179
	Condensação de vapor no vácuo do filtro rotativo	725
Tratamento do caldo - Etanol	Condensação de vapor no vácuo do filtro rotativo	319
Evaporação	Condensação vapor vegetal evaporador 5º efeito	30126
Cozimento, centrifugação e cristalização	Condensação vapor vegetal cozedores A e B	28227
Preparo do mosto e Fermentação	Resfriamento de mosto	3163
	Resfriamento das dornas	5074
Destilação	Condensação do etanol da coluna de destilação	662
	Condensação do etanol na coluna de retificação	8838
	Resfriamento do etanol	585
	Resfriamento do vinhoto	9261
<b>Total</b>	-	<b>92386</b>

FONTE: Adaptado de ENSINAS (2008)

### *O uso do calor da vinhaça*

Na primeira coluna de destilação onde se obtém a flegma, é gerada uma grande quantidade de vinhaça como efluente, que deve ser tratada adequadamente, pois apresenta elevada carga orgânica.

A flegma produzida é direcionada à coluna de retificação onde é concentrada e purificada, gerando o etanol hidratado. A flegmaça, efluente proveniente da coluna de retificação, é misturada à vinhaça e destinada à agricultura como fertilizante. Normalmente, utiliza-se a vinhaça para pré-aquecer o vinho antes de entrar na coluna de destilação, baixando a sua temperatura a 80°C, ainda que não sejam todas as usinas que reutilizam esta energia. Em seguida, o resfriamento da vinhaça é completado em torres de resfriamento (Figura 55), que reduzem sua temperatura abaixo dos 40°C, para ser transportado à lavoura da cana sem danificar os dutos de transporte (ENSINAS, 2008).



Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 55 - Torres de resfriamento de vinhaça.**

Existem diversas possibilidades para transferir a energia térmica da vinhaça às estufas agrícolas, e a solução varia em função da temperatura da vinhaça disponível, distância das estufas à Usina, demanda de energia das estufas e o tipo de cultura e trocadores de calor dentro das estufas.

Até uma temperatura de 60°C, a vinhaça poderia ser distribuída e circular em tubos plásticos radiantes diretamente na estufa. Em seguida, a vinhaça retorna aos tanques de vinhaça para envio à lavoura. Se o sistema de aquecimento da estufa é um sistema de pressão positiva a ar quente, a vinhaça pode circular diretamente nos trocadores de calor de cada seção da estufa. Este cenário é provavelmente aquele com o menor custo de investimento e operação e utilizado em outros projetos de recuperação de energia de termoelétricas no mundo. O inconveniente é que toda a tubulação e conexões no interior das estufas deve ser compatível e corretamente instalado e monitorado periodicamente para evitar vazamentos e acidentes.

Outro solução é instalar o trocador de calor na Usina e enviar água quente às estufas que, em seguida, pode circular em radiadores de plástico ou metálicos segundo a temperatura ou ser utilizada em trocadores de calor para o aquecimento direto do ar.

## Aspectos econômicos

- **Comparativo do custo de produção do tomate convencional com o tomate em estufa**

Os custos de produção de tomate de campo aberto são bem conhecidos para diversas regiões e safras do Brasil. Neste caso, foram utilizados os dados apresentados pela revista HORTIFRUTI BRASIL (DELCO, 2010) para a região de Mogi-Guaçu, para a safra de inverno de 2009 (maio a outubro), para uma propriedade de 15 ha (Tabela 56).

Para comparar os custos de produção com os custos do cultivo protegido, calculou-se a superfície equivalente que uma estufa moderna necessita ter para produzir a mesma quantidade de tomate cultivada em campo aberto. Os resultados são apresentados na Tabela 56.

O preço médio obtido pelo produtor do tomate tipo 2A, longa vida, de campo aberto, para os meses de maio a outubro de 2009, foi de R\$ 1,30 por quilo (DELCO, 2010).

No Brasil, os custos de produção de tomates em estufas modernas a alto rendimento não são encontrados facilmente, dado o pequeno número de empresas e os diferentes níveis tecnológicos utilizados. Para efeito comparativo, utilizaram-se dados acumulados a partir de operações mexicanas e atualizados para o Brasil para uma produção de tomate de especialidade tipo *sweet grape*, em que o preço médio pago ao produtor (DA SILVA, 2010) foi da ordem de R\$4,00 por kilo de produto para produtores de classe A, no Estado de São Paulo, em 2009.

**Tabela 56 - Comparação dos custos de produção de uma propriedade padrão para produção de tomate de mesa em campo aberto e em cultivo protegido.**

Descrição	Convencional	Unidade	Cultivo protegido
Área (Mogi Guaçu)	15	ha	2,1
Safra de inverno	abril à outubro	meses	11
Rendimento	7,7	kg/m <sup>2</sup>	55
Preço médio de venda	1,3	R\$/kg	4
CUSTO DE OPERAÇÃO	56.645,10 \$	R\$/ha	1.409.457,93 \$
Custo por kilo	0,73 \$	R\$/kg	2,56 \$
RECEITAS	100.314,50 \$	R\$/ha	2.200.000,00 \$
MARGEM BRUTA	43.669,40 \$	R\$/ha	790.542,07 \$
Margem bruta por kilo	0,57 \$	R\$/kg	1,44 \$
Margem bruta / vendas	44%	%	36%

Fonte: Adaptação DELCO (2010) e DA SILVA (2010)

Pode-se constatar que, apesar dos custos de produção em cultivo protegido serem maiores, a rentabilidade por quilo de produto é superior, justificando assim o alto investimento necessário para as operações que apresentam normalmente um retorno médio sobre o investimento de 1 a 3 anos.

Por outro lado, vale a pena notar que o risco inerente de perdas na produção em campo aberto foi avaliado em torno de 21% (DELCO, 2010), podendo alcançar 42% nos meses de agosto e de 37% em dezembro, com perdas de R\$ 13.350,00 e de R\$ 8.206,54 por hectare, respectivamente. As variações climáticas, a incidência de pragas e doenças na produção, assim como as deficiências na comercialização da produção, são os fatores que mais fazem oscilarem os preços de maneira incontrolável para os produtores.

No cultivo protegido com tecnologia, as condições climáticas e as pragas são totalmente controladas, e a comercialização é feita, via de regra, diretamente com os centros de varejo (as redes hortifruti, varejões, supermercados e hipermercados), aumentando assim a rentabilidade dos produtores. Os riscos deste tipo de atividade estão no controle dos custos de produção (insumos, energia e mão-de-obra) e na eficiência de seus profissionais na gestão da empresa.

### ***Aspectos sociais***

As estufas agrícolas utilizam entre 10 a 15 empregados por hectare. Com uma formação mínima, qualquer trabalhador rural pode se adaptar, com as vantagens de ter melhores condições ergonômicas de trabalho, de clima, uso mínimo e controlado de agroquímicos, equipamentos especializados e uma gestão precisa das operações. Em muitas estufas agrícolas no mundo, o trabalho feminino é grandemente valorizado e até deficientes físicos podem cooperar em certas tarefas.

Se todas as usinas de São Paulo tivessem 10 ha de estufas integradas, isto equivaleria à criação de mais de 30.000 empregos rurais registrados e permanentes, distribuídos pelo interior do Estado. A mão-de-obra rural, excedente devido à mecanização da colheita da cana, pode ser facilmente reciclada para trabalhar nas estufas agrícolas.

A possível competição da produção intensiva de hortaliças com a tradicional agricultura familiar do setor pode ser vista de um outro ângulo. As instalações de estufas agrícolas em todo o mundo funcionam como uma vitrine tecnológica, um centro de formação técnica ou reciclagem para os empregados que passam em estas empresas. Destas experiências, nascem muitas outras, às vezes, menores e com nível tecnológico mais simples, mas que vêm somente contribuir para formar uma cadeia de produção com maior peso. No México, nos anos 80, existiam somente 300 ha de estufas agrícolas nas mãos de poucas empresas com capacidade de investimento. Hoje, são mais de 2.000 ha de estufas agrícolas de média e alta tecnologia e outros 4.000 hectares de plástico, produzindo uma grande parte dos tomates e pepinos, consumidos nos EUA e Canadá (DA SILVA, 2010). Muitos pequenos proprietários, ao ver o sucesso de empresas agrícolas investindo em tecnologia, iniciam projetos pequenos que crescem e tornam-se exemplos para outros produtores. As empresas rurais no mundo todo estão chamadas a aumentar a renda sem a qual não poderão competir com a modernização e a integração da economia mundial.

## ***Aspectos ambientais***

Um projeto de integração UB-EA é um modelo de sustentabilidade perfeito. Os usos das utilidades da usina como o CO<sub>2</sub> e a energia térmica residual são por si só uma grande vantagem para o meio ambiente, mas não a única.

Os defensivos agrícolas na produção de tomate de mesa em campo aberto representam 15% do custo de produção (DELCO, 2010). Em uma estufa moderna, utiliza-se o controle biológico com vantagens não só para os trabalhadores e os consumidores, mas também para as próprias plantas que se desenvolvem com maior vigor e qualidade. A criação de um ambiente protegido com as condições ótimas de temperatura e umidade reduz o stress sob as plantas, aumentando a resistência natural destas às doenças e pragas.

Outro aspecto ambiental importante desta integração são os créditos de carbono possíveis de serem calculados a partir do uso do CO<sub>2</sub> da fermentação e da energia residual da vinhaça, evitando assim a utilização de combustíveis fósseis para o aquecimento da usina. Sabendo-se que para cada m<sup>3</sup> de gás natural não queimado, evita-se a emissão de 1,8 kg de CO<sub>2</sub>, estima-se que 912 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare de estufa são evitados, sem contar os créditos que poderiam ser calculados em economias de água por quilo de produto (em torno de 50%), de fertilizantes por quilo de produto (em torno de 30%) e na produção de agroquímicos.

## ***Aspecto Comercial***

Uma estufa agrícola representa uma atividade agrícola intensiva que pode gerar receitas de até R\$ 100,00/m<sup>2</sup> com uma margem beneficiária bastante atraente e baixo risco se comparado com outras atividades do mesmo ramo. No entanto, a integração com uma usina de álcool e açúcar não é elementar devido à diferença de proporções e cultura entre os distintos negócios. A recente profissionalização do setor sucroalcooleiro no Brasil e a inversão de capital estrangeiro e de grandes corporações pode contribuir positivamente para reduzir estas diferenças.

Os aspectos positivos da integração, apresentados acima, são pontos a serem analisados e utilizados no objetivo de estabelecer um interesse de parceria entre a usina e a estufa. Esta parceria, para que seja durável, deve estabelecer uma relação comercial entre as partes a fim de que ambas possam tirar proveito da situação e da oportunidade.

Para a estufa agrícola, a vantagem comercial da integração é a redução dos custos de produção, principalmente o custo do CO<sub>2</sub> e da energia térmica. No estudo de caso apresentado no capítulo seguinte, esta economia se traduz por uma redução do custo de produção da ordem de 24% e um aumento da rentabilidade das operações de 58%, equivalente a R\$ 622.000,00 por hectare.

A usina, por outro lado, recupera um valor pelo arrendamento do terreno, pode recuperar créditos de carbono e por que não tirar uma participação das economias proporcionadas às operações da empresa agrícola? Deste modo, a usina, sem ser necessariamente a operadora ou responsável do empreendimento, pode ter um atrativo financeiro mais interessante quanto maior for a superfície das estufas. Supondo um retorno financeiro de 5% sobre todas as economias em CO<sub>2</sub> e adicionando-se o valor do arrendamento da terra, dos créditos de carbono e economias de operação das torres de resfriamento, um complexo de 10 hectares de estufas poderia gerar uma renda extra para a usina de aproximadamente R\$

500.000,00 por ano. Uma usina padrão, como veremos a seguir, produzindo 80 milhões de litros de etanol por ano, pode fornecer todo o CO<sub>2</sub> e energia para mais de 60 hectares de estufas, totalizando receitas adicionais da ordem de R\$ 2,7 M por ano para a usina.

### ***Aspecto Corporativo***

Se o aspecto comercial é importante para a concretização da integração do ponto de vista financeiro e comercial, o aspecto corporativo é fundamental do ponto de vista político para “vender” o projeto junto às direções de ambas empresas. O maior desafio para este tipo de projeto não é necessariamente tecnológico, como cita GLADON (2008), mas sim pelo fato de que as Usinas de Bioetanol necessitam estabelecer uma relação de negócios bem definida com as estufas agrícolas para suprir os subprodutos de maneira apropriada à produção destas. É preciso demonstrar que as usinas têm neste tipo de projeto um argumento, demonstrando a sua implicação sócio-econômica na região, na produção de alimentos e no desenvolvimento auto-sustentado.

Encontrar o ponto de equilíbrio entre os interesses dos operadores das estufas, a necessidade de ocupar as terras adjacentes à usina e os próprios interesses das usinas é um quebra-cabeça que representa a maior barreira para este tipo de projeto e tem sido o objetivo da empresa de consultoria ESTUFAS AGRÍCOLAS COMÉRCIO E ASSESSORIA LTDA., interessada em promover este tipo de projeto no Brasil e no mundo.

### ***Modelo de Negócio para a integração UB-EA***

Um dos modelos de negócio possíveis é o proposto pela EACEA Ltda., no qual a empresa de estufas agrícolas promove o arrendamento das terras adjacentes à usina e paga um retorno financeiro a estas baseado nas economias realizadas com a utilização do CO<sub>2</sub> e da energia térmica residual. A maioria das usinas de álcool possui terras adjacentes aos reservatórios de álcool, não utilizadas devido aos perigos de incêndio.

Neste modelo, a gestão das estufas agrícolas não interfere nas operações cotidianas da usina, permitindo que cada empresa realize suas atividades. No entanto, a usina pode ser eventualmente acionária ou parceira no projeto e até participar das operações da empresa agrícola com possíveis vantagens para ambas.

Um projeto de integração deve ter uma escala de, no mínimo, 5 ha a fim de mitigar os custos fixos de instalação, integração com a usina e operação da estufa, assim como o de gerar uma escala de produção mínima para a comercialização. Em um mesmo sítio de produção, não se recomenda por motivos de gestão de mão-de-obra, ter mais do que 40 a 60 hectares de estufas. Para a realização de um projeto de 5 há, prevê-se um calendário de 6 a 8 meses a partir da assinatura dos contratos de arrendamento e/ou de parceria.

### ***Resultados do modelo de integração UB-EA***

O modelo de integração foi baseado no modelo de uma usina de açúcar e álcool padrão, de 2 milhões de toneladas de cana por ano, com uma produção de 40 litros de etanol/t de cana, para uma safra de 4.000 horas, segundo ENSINAS (2009). Os principais parâmetros utilizados no modelo são mostrados na Tabela 57.



A esta usina foi integrado um complexo de estufas, sendo calculados os principais aspectos técnicos e econômicos desde o investimento até o custo de operação, assim como a rentabilidade da empresa. Estes valores são apresentados na

Tabela 58, comparados aos dados de uma estufa não integrada a uma usina.

O uso intensivo de CO<sub>2</sub> (2 t de CO<sub>2</sub>/dia/ha) permitiu passar o rendimento agrônômico de 50 a 65 kg/m<sup>2</sup>. O custo de investimento da estufa aumentou em R\$ 150.000,00 devido aos trabalhos de integração com a usina e houve uma diminuição de 100% dos custos de energia térmica e de 60% do custo de CO<sub>2</sub>. Não ocorreu a economia total no CO<sub>2</sub> por a usina operar somente 166 dias por ano. O custo de financiamento de longo prazo foi estabelecido em 9%, dentro das linhas do BNDES.

Os custos de operação por quilo de produto diminuíram 24%, e a margem bruta da empresa aumentou em 58% devido ao fato de que o rendimento agrônômico foi maior em 30%. O retorno sobre o investimento foi de 10 meses comparado a 1,4 anos de uma estufa não integrada. Em projetos deste tipo, em outros países, um retorno de 2 até 3 anos é considerável aceitável.

**Tabela 57 - Usina padrão de açúcar e álcool.**

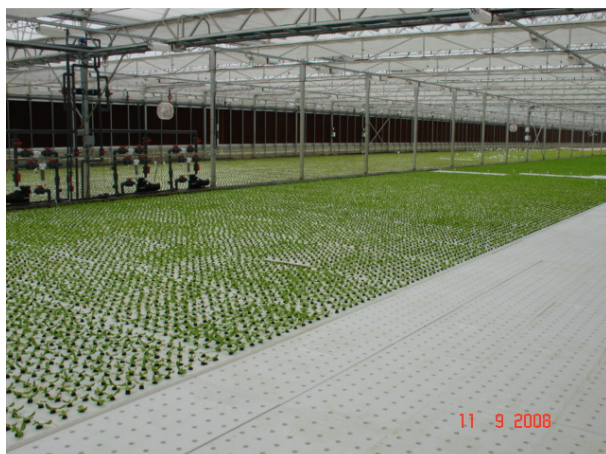
<b>USINA BIOETANOL</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>
Usina padrão	2.000.000	ton de cana por ano
Moagem horária	500	ton por hora
Produção de etanol	40	litros por ton de cana
Produção de açúcar	65	kg por ton de cana
horas safra	4.000	horas
inicio safra	MARÇO	mês
fim da safra	SETEMBRO	mês
Produção diária de CO <sub>2</sub>	15.200	ton CO2 por dia
Temperatura inicial vinhaça	76	Graus C
Temperatura final vinhaça	40	Graus C
Produção de vinhaça	5.760.000	litros por dia
Energia BT disponível	866.764.800	KJ por dia

Fonte: ENSINAS (2008) e DA SILVA (2010)

**Tabela 58 - Análise comparativa de uma estufa agrícola integrada**

**Erro! Vínculo não válido.**

## **Extrapolação para outras culturas e cenários**



- **Produção de rosas de corte**

O uso de CO<sub>2</sub> na produção de rosas em estufas não só aumenta o rendimento, mas também a qualidade das plantas (LANGHANS, 1987), favorecendo o comprimento e a grossura das hastes, o número e o tamanho das pétalas e a redução do número de botões abortados.

Em uma estufa controlada, a produção muda segundo as variedades, mas o incremento da concentração de CO<sub>2</sub> pode aumentar em até 60% o número de rosas produzidas.

A produção em ambiente controlado permite ainda a produção sem agroquímicos, o que aumenta a longevidade das flores de corte e o uso para outros fins, como o cosmético, a culinária e a perfumaria.

- **Produção de alface hidropônica (raft floating)**

Um excelente exemplo da aplicação de CO<sub>2</sub> é na produção de alfaces hidropônicas, utilizando-se a tecnologia de raft floating. Neste tipo de produção, as plantas de alface flutuam (em bandejas de isopor) em uma solução hidropônica. A empresa HIDROSERRE MIRABEL, em Quebec, Canadá, (Figura 56), desenvolveu um sistema de alto desempenho e densidade, permitindo, em condições de enriquecimento com CO<sub>2</sub>, obter até 300 pés (alface tipo Boston) por metro quadrado por ano. As alfaces com massa média de 200 gramas (600 toneladas de alface/ha.ano) são embaladas individualmente com as raízes (o que aumenta a longevidade do produto) e comercializadas diretamente nas grandes redes de supermercado do Canadá e EUA.

Este sistema se adapta muito bem às hortaliças folhas, ervas finas e certas plantas medicinais.



Fonte: DA SILVA (2010)

**Figura 56 - Produção de alfaces em sistema hidropônico tipo *raft floating***

- **Produção de morangos**

O cultivo em estufas agrícolas do morango, assim como de outras pequenas futas, como amoras e framboesas, responde muito bem em estufas modernas, aumentando o período da safra, favorecendo uma produção de qualidade superior e com um mínimo de agroquímicos.

Os coeficientes técnicos da EMBRAPA (MADAIL, 2005) para o cultivo do morango mostram uma produtividade média, no Brasil, de 2 kg por ha. Em estufas, a produtividade pode alcançar até 12 kg por hectare. Os preços médios no varejo (Estado de São Paulo) do morango de campo aberto nos últimos 12 meses foi R\$ 8,15 (IEA), enquanto que, nos mercados de especialidade das grandes cidades, pode-se encontrar morangos importados da Califórnia ao preço de R\$ 100,00 por quilo (DA SILVA, 2010). Hoje, no Brasil, um produto de qualidade, com certificado de origem e a garantia de ser um produto sem agroquímicos tem um mercado e preço garantidos.

- **Produção de transplantes**

A produção de mudas ou transplantes em estufas para posterior plantação em campo aberto ou mesmo em estufas agrícolas apresenta muitas vantagens, apesar do seu maior custo, entre elas:

- Maior controle fitossanitário;
- Mudanças mais desenvolvidas;
- Mudanças mais resistentes ao transplante;
- Uniformidade da produção;
- Maior aproveitamento da água, luz e nutrientes, incluindo o CO<sub>2</sub>, que aumenta a produtividade e a qualidade das mudas;

- Alta produtividade e uso de áreas impróprias para a produção convencional;
- Redução do período de produção;
- Possibilidade de aumentar o número de ciclos de cultura por ano ou produzir antes da safra, obtendo melhores preços.

Segundos os dados da ABCSEM (2007), o mercado de sementes de hortaliças responde por 693.000 ha plantados. A grande maioria de empresas no Brasil faz as suas próprias mudas. Contudo, hoje, tal como na América do Norte e Europa, há empresas especializadas na produção de mudas para produtores agrícolas tanto de campo aberto como no mercado de cultivo protegido.

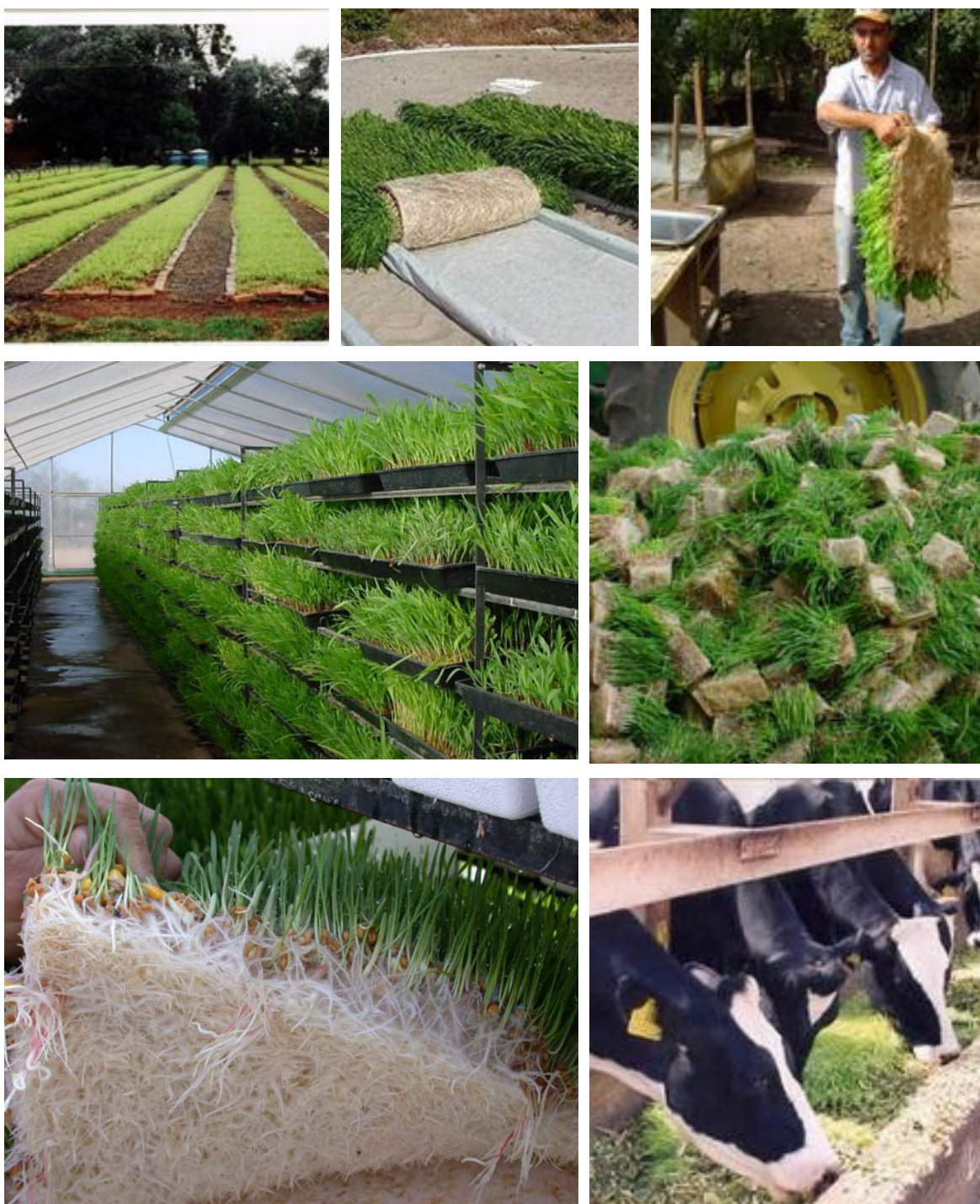
Na integração de UB-EA, este cenário pode encontrar vantagens técnicas muito grandes com o uso do CO<sub>2</sub> e o controle climático e proporcionar mais uma oportunidade para a utilização das terras em torno das usinas improdutivas ou em rotação com culturas de ciclo curto, como as hortaliças.

- **Produção de forragem hidropônica verde (FHV)**

O cultivo de forragem hidropônica é uma tecnologia de produção de fitomassa obtida por meio da germinação de sementes viáveis e do crescimento inicial de plantas (FAO, 2001). Ela se destaca por ser constituída de plantas de crescimento acelerado, com ciclo curto de produção, elevado rendimento de fitomassa fresca e excelente qualidade nutricional, por se encontrar em fase inicial de formação, contendo grande quantidade de aminoácidos livres que serão facilmente aproveitados pelos animais (SANDIA, 2003; SANTOS et al., 2004) (Figura 57).

O cultivo de forragem hidropônica apresenta um baixo consumo de água (3 a 4 L/m<sup>2</sup>) e ciclos de 10 a 15 dias. Em produção em cultivo protegido, pode-se acelerar ainda mais o processo pelo incremento de CO<sub>2</sub>, controle da temperatura e uso de fertilizantes. Outros fatores, como necessidade de produção em curto prazo, baixo custo da mão-de-obra, eliminação do uso de defensivos agrícolas, redução das tarefas inerentes à produção e conservação de forragens, podem influenciar também na escolha do cultivo de FHV (HENRIQUES, 2000; SANTOS, 2000; FAO, 2001). Em vários países, inclusive no Brasil, as produções de forragem em hidroponia vêm sendo utilizadas para suplementação animal (HENRIQUES, 2000 e FAO, 2001).

Experimentos relatados pela FAO (2001), com fornecimento de forragem hidropônica para animais, demonstram que esta é uma opção eficiente: em cordeiros desmamados, obteve-se 0,240kg de ganho médio diário de peso, enquanto que a dieta sem forragem hidropônica proporcionou ganho médio diário de peso de 0,187kg; em vacas leiteiras, houve incremento de 18% na produção de leite; em coelhos, substituindo a ração na proporção de 80%, obteve-se menor tempo de terminação e 50% de economia no custo de produção.



Fonte: ECOкана(2006) e SANDIA (2003)

**Figura 57 - Produção de forragem hidropônica verde.**

Pode-se produzir FHV de espécies como arroz, aveia, cevada, centeio, milheto, milho, trigo, sorgo, em diversas condições ambientais. Entretanto, são escassas as informações a esse respeito, havendo dúvidas sobre a densidade de semeadura e idade ideal de colheita. Conforme a FAO (2001), para o cultivo de forragem hidropônica, a densidade de semeadura ótima está entre 2,2 a 3,4kg m<sup>-2</sup>. Araujo (2008) avaliou a produtividade e o teor de proteína da forragem de milho hidropônico, cultivado sobre bagaço de cana-de-açúcar, identificando a quantidade

adequada de sementes, a data ideal de colheita e a possibilidade de utilização do vinhoto como solução nutritiva. Araujo (2008) cita um rendimento de até 22,71 kg/m<sup>2</sup> e 34,02 kg/m<sup>2</sup> em matéria fresca (3,42 e 3,54 em BS) para FHV com 10 e 20 dias, respectivamente, produzida com uma solução de vinhaça diluída 1:10 e densidade de 2 kg de milho por m<sup>2</sup> sob uma cama de bagaço de cana (4 cm), obtendo resultado ótimo para ciclos de 10 dias com média de 12% de proteína bruta.

A forragem hidropônica possui um ótimo potencial de integração com as usinas de açúcar e álcool que trabalham com projetos de pecuária.

### **Outros aspectos da integração UB-EA**

Tradicionalmente, os subprodutos da produção do açúcar, como o melaço, o bagaço, a levedura, a torta de filtro e a vinhaça, têm sido utilizados em inúmeras aplicações agroindustriais. Novos produtos, porém, incluem desde realçadores de sabor para a indústria de alimentos até plástico para embalagens (BNDES 2008).

A hidroponia moderna pode utilizar uma grande parte destes subprodutos como substituto dos tradicionais substratos de cultura (lã de rocha, casca de coco), ingredientes de base para as soluções nutritivas na fertirrigação e uso de fungos e bactérias específicas. Nesta área, o uso de agentes bioquímicos (biotecnológicos) no controle biológico de doenças e pragas trouxe avanços extraordinários na produção em estufas e na hidroponia moderna.

Igualmente, pode-se pensar nos tratamentos pós-colheita (esterilização, preservação e realce de cores e aparências) e até na fabricação de embalagens recicláveis e econômicas. Um estudo aprofundado deste potencial permitiria uma integração ainda melhor das estufas com a indústria sucroalcooleira. Neste capítulo, identificamos dois outros aspectos que mereceriam maior atenção dada à facilidade com que podem ser implantados.

### ***O uso do bagaço como substrato e da vinhaça como fertilizante***

Na seleção de materiais para uso como componentes ou misturas de substratos, busca-se a obtenção de algumas propriedades, como a relação entre as características de aeração e drenagem, o que permitirá o equilíbrio entre a retenção e a liberação da água e dos nutrientes; a adequação nos valores de pH e salinidade, para otimizar a absorção de água e nutrientes pela raiz; a baixa densidade, importante para diminuir os custos de transporte; a ausência de propágulos de doenças, pragas e plantas daninhas, para evitar o uso de defensivos agrícolas, e a homogeneidade, disponibilidade e manutenção da qualidade do material (KÄMPF, 2004).

Na hidroponia, utiliza-se substrato orgânico (casca de côco, terra vegetal, casca de arroz, etc) ou inorgânico (lã de rocha, areia, pedra, etc) com o objetivo de eliminar os riscos de doenças e facilitar o controle da irrigação. O bagaço da cana-de-açúcar e a torta de filtro podem então ser utilizados como substrato ou como agregado em misturas para produzir um substrato para culturas hidropônicas.

Muitos autores já caracterizaram diversas aplicações para o bagaço da cana-de-açúcar e suas propriedades (SILVA, 2008), considerando-o com boa estabilidade e podendo ser utilizado como substrato para plantas. No norte do Estado do Rio de Janeiro, o uso do substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira



(mistura bagaço de cana moído e de torta de filtro) tem sido utilizado com êxito para produção de mudas de cana-de-açúcar e eucalipto (MORGADO, 1998), goiabeira (SCHIAVO, 2002) e citros (SERRANO, 2004). Os resultados demonstram que este substrato é adequado para essa finalidade, pois conferiu às mudas qualidades morfofisiológicas semelhantes ou superiores às alcançadas com o uso de substratos comerciais.

Diversos compostos podem ser utilizados como substratos para o cultivo de espécies vegetais, porém, em algumas situações, pode ser interessante realizar misturas destes para se atingir as melhores condições químicas e físicas para o crescimento das plantas (GRASSI, 2004).

BIAIS (1995) estudou a viabilidade da utilização de turfa e de bagaço-de-cana como substrato para a produção de mudas de tomateiro e de maracujá-amarelo. Os tratamentos consistiram de turfa (100%), bagaço-de-cana (100%) e suas misturas em proporções volumétricas de 25, 50 e 75%. O tratamento constituído pela mistura de 50% destes materiais foi superior tanto para o maracujá como para o tomate, sendo recomendada como um bom substrato para uso hortícola.

**Tabela 59 - Características da vinhaça em comparação com uma solução nutritiva para tomate (beefsteak) em lâ de rocha.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Media</b>	<b>mínimo</b>	<b>máximo</b>	<b>Diluição</b>	<b>Solução nutritiva</b>
pH	4,8	3,5	4,9		5,5
Nitrogênio	352	81	1214	35,2	254
Fósforo	32	10	188	3,2	47
Potássio	2666	814	7611	266,6	429
Cálcio	864	71	2615	86,4	207
Magnésio	535	97	1113	53,5	54
Sulfato	861	92	3364	86,1	132
Fe	14,71	2	200	1,471	2
Mn	4,5	1	12	0,45	0,6
Zn	1	0,5	4,6	0,1	0,7
B	13,3	10	25	1,33	0,35
Cu	0,5	0,2	3,2	0,05	0,05
Mo	Nd	nd	nd	Nd	0,05

Fonte: Adaptado de Gallegos (2006) e ANA (2009)

A vinhaça utilizada na fertilização do solo na cultura de cana pode ser empregada como insumo na fabricação de soluções nutritivas para hidroponia. A Tabela 59 apresenta uma comparação de uma solução nutritiva de base para uma produção de tomate hidropônico com uma solução feita a partir de vinhaça com uma diluição de 1:10.

O emprego da vinhaça pode ser especialmente interessante na produção de hortaliças, utilizando-se a tecnologia do "*Raft floating*" (DA SILVA, 2010) e na produção de forragem hidropônica verde (ARAÚJO, 2008).

Produção de forragem hidropônica verde.

### ***A integração com a biodigestão da vinhaça***

A biodigestão anaeróbica da vinhaça é bem conhecida e, do ponto de vista de integração com um projeto de produção vegetal em cultivo protegido, apresenta os seguintes aspectos: uma fonte de energia a partir da combustão do biogás (60% de metano), uma fonte de CO<sub>2</sub> (seja diretamente retirado do biogás ou pela queima do metano) e uma fonte de nutrientes contidos na vinhaça tratada.

PINTO (1999) descreve os projetos de biodigestão de vinhaça existentes no Brasil. O primeiro foi instalado na Destilaria Central Jacques Richer, em Campos-RJ, (180.000 litros de álcool por dia) com um biodigestor de 330 m<sup>3</sup>.

O segundo foi instalado na destilaria São João, localizada em Pirassununga-SP, (300 m<sup>3</sup> de álcool por dia), e operou até 1997 com um reator de fluxo ascendente (UASB), cuja capacidade nominal de processamento de vinhaça era de 1500 m<sup>3</sup>/dia, com carga efetiva de cerca de 1000 m<sup>3</sup>/dia e remoção de 85% da DQO. O reator operava em temperatura mesofílica (35°C) e seu efluente usado como fertilizante no canavial. Foi construído um gasômetro de 600 Nm<sup>3</sup> e o biogás gerado (70% de metano) era purificado a até 98% de metano, comprimido a 220 atm e armazenado em cilindros de 400 Nm<sup>3</sup> de capacidade. A produção média global, considerado todo o tempo de operação da planta, foi de 4274 Nm<sup>3</sup>/dia.

A Usina São Martinho, em Pradópolis-SP, com capacidade de moagem de mais de 6,5 milhões de toneladas de cana por ano, iniciou em 1987, a implantação de um protótipo de reator UASB, de 75 m<sup>3</sup>, para a digestão anaeróbia da vinhaça, operando na faixa termofílica (55 a 75°C). Em 1995, iniciou-se a montagem de um reator de 5200 m<sup>3</sup>, que processa 25% da vinhaça produzida pela usina. No entanto, o efluente do biodigestor é misturado com a vinhaça e enviado à lavoura. Este projeto, que custou 4,5 milhões de reais, está sendo pago com a comercialização de levedura secada, usando-se o biogás como combustível.

Em um projeto de integração com estufas agrícolas, a vinhaça, armazenada em reservatórios apropriados, poderia ser utilizada para suprir o CO<sub>2</sub> e energia térmica BT necessárias durante a entressafra (no Estado de São Paulo, durante o verão), período em que a usina não funciona. Para um projeto de 5 ha de estufas no Estado de São Paulo, seriam necessários apenas 30.000 m<sup>3</sup> de vinhaça para 200 dias de uso de CO<sub>2</sub> pelas estufas (supondo uma conversão de 13 litros de biogás, com concentração de 60% de metano, por litro de vinhaça).

#### 1.4.1.5 Conclusões

- Um projeto de integração UB-EA é viável tecnicamente e economicamente, além das vantagens sociais, ambientais e corporativas inerentes;
- Para a usina de bioetanol, um projeto de integração pode representar receitas adicionais de R\$ 45.000,00 por hectare de estufa operando integrada à usina;
- Para as estufas agrícolas, o uso do CO<sub>2</sub> e da energia residual da vinhaça representa um aumento da rentabilidade bruta da empresa em mais de 50%;
- O tomate de mesa tipo gourmet produzido em cultivo protegido quando comparado com o cultivo de tomate convencional apresenta um rendimento 1,5 vezes maior em R\$/kg de produto;
- O uso do cultivo protegido integrado com as usinas de bioetanol abre as portas para a produção de diferentes produtos, como o cultivo de plantas ornamentais, hortaliças folhosas e frutas, pequenas frutas, a propagação vegetal e a produção de mudas. Todos estes setores apresentam um potencial de crescimento na economia brasileira;
- As tendências de consumo de alimentos no Brasil vão exigir maior quantidade de alimentos, mas com maior valor agregado. Dentre estes valores, destacam-se a necessidade de produtos de maior qualidade e nutracêuticos, o uso do rastreamento e certificados de origem, além da garantia de isenção de agroquímicos. Estas características são amplamente satisfeitas em cultivo protegido em estufas agrícolas modernas;
- O uso da vinhaça e do bagaço da cana-de-açúcar podem encontrar um novo nicho para utilização em estufas agrícolas como fertilizantes e base para substrato. Destacam-se, neste caso, o cultivo de hortaliças folhosas com a tecnologia de *raft floating* e a produção de forragem hidropônica verde para complemento da alimentação animal;
- A integração UB-EA abre uma nova porta para o uso dos subprodutos da biodigestão anaeróbia da vinhaça. Este aproveitamento pode reduzir os custos de produção do biogás e favorecer a implantação desta tecnologia mesmo no atual cenário de tarifas de eletricidade para os produtores independentes;
- O modelo de negócio apresentado pela EACEA Ltda. para a integração UB-EA não exige, necessariamente, a participação acionária da usina na empresa de estufas, facilitando assim a implantação deste tipo de projeto em forma de parcerias.

## OE2. Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-Alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil

---

### **2.1 Panorama das emissões de GEE no Brasil e no mundo; e perspectivas mundiais, programas e metas de redução das emissões de GEE<sup>21</sup>**

#### **2.1.1 Introdução**

O texto aqui apresentado refere-se ao relatório final da OE2 do projeto Contribuição do Setor Sucroalcooleiro para a Matriz Energética e para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil. A OE2 tem como objetivo o Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil. A OE2 está sub dividida em oito objetivos ainda mais específicos, que correspondem aos seus tópicos; este é o relatório do tópico "Panorama das emissões de GEE no Brasil e no mundo; e perspectivas mundiais, programas e metas de redução das emissões de GEE".

Este texto está estruturado nas seguintes seções:

- Evolução histórica das emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE –, no Brasil e no Mundo, de 1990 até a presente década.
- Perspectivas de evolução das emissões de GEE no Brasil e no mundo – cenário Referência, para 2030 (e 2050, no mundo), e cenários de redução das emissões para a estabilização das concentrações de GEE<sup>22</sup>.
- Alternativas de mitigação; foco nas alternativas de mitigação associadas às cadeias energéticas e, em especial, no setor de transportes e na geração de energia elétrica.
- Síntese do estudo do Banco Mundial sobre Cenário de Baixas Emissões de GEE em 2030, no Brasil<sup>23</sup>.
- Programas e metas – compromissos já assumidos pelo Brasil e por outros países até a COP15, em Copenhagen.

#### **2.1.2 Evolução histórica das emissões**

Os chamados gases de efeito estufa (GEE) são constituintes gasosos da atmosfera que absorvem e refletem mais intensamente radiação infravermelha. Segundo o Protocolo de Quioto são gases precursores diretos do efeito estufa o dióxido de

---

21 Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP) e Sérgio Valdir Bajay (FEM/NIPE/UNICAMP)

22 As concentrações de CO<sub>2</sub> devem ser estabilizadas em 450 ppmv (partes por milhão, base volumétrica) em meados do Século XXI, para que a elevação da temperatura média do planeta não fique acima de 2°C. Por outro lado, há o entendimento de que com tal concentração os riscos seriam muito altos, e os efeitos das Mudanças Climáticas seriam muito menos drásticos se as concentrações fossem estabilizadas em 350 ppmv.

23 Oficialmente divulgado em meados de Junho de 2010.

carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), além de duas famílias de gases, os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs)<sup>24</sup>. São gases precursores do efeito estufa, mas de efeito indireto, uma vez que resultam das emissões de ao menos algum dos seis gases anteriormente mencionados, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e componentes orgânicos voláteis que não o metano (NMVOC).

As emissões desses gases devem ser reportadas pelas Partes (ou seja, pelos países signatários da Convenção do Clima) através de inventários. Países signatários que são do Anexo I<sup>25</sup> (países que têm metas de redução de emissões a cumprir no primeiro compromisso do Protocolo de Quioto – no período 2008-2012) reportam suas emissões através dos inventários anuais, enquanto países que são não-Anexo I reportam emissões através de comunicações nacionais. O Brasil, país que não é Anexo I, tem até 2011 para finalizar sua comunicação relativa às emissões de GEE no período 2000-2004.

As informações mais recentes da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) com dados de emissões de GEE no período 1990 a 2007 são o Annex I Parties<sup>26</sup>. Essas são os dados oficiais e, pelo fato do conjunto de dados disponíveis não ser da mesma data, há incongruências. Principalmente em relação às emissões de GEE associadas ao consumo de energia, há estimativas mais recentes, como as da Agência Internacional de Energia (AIE).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o mais importante GEE antropogênico. Sua concentração cresceu de 280 ppmv na era pré-industrial para 379 ppmv em 2005. No período 1995-2005 a taxa de crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> foi de 1,9 ppmv/ano, contra a taxa média de 1,4 ppmv/ano de 1960 a 2005 (IPCC, 2007). Estima-se que em 2010 a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera chegará a 390 ppmv.

A concentração de metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera cresceu de 715 ppbv na era pré-industrial para 1774 ppbv em 2005. Entretanto, as taxas de crescimento das emissões caíram desde 1990 (IPCC, 2007). As emissões antropogênicas de metano devem-se principalmente à queima de combustíveis fósseis e à agricultura.

Já a concentração de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) na atmosfera cresceu de 270 ppb para 319 ppb em 2005, e as taxas de crescimento da concentração têm estado praticamente constantes desde 1980 (IPCC, 2007). Mais de um terço das emissões de óxido nitroso são antropogênicas e devidas principalmente à agricultura.

Na Figura 58 é apresentada a evolução das concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera, em anos anteriores (milênios) a 2005. Para

---

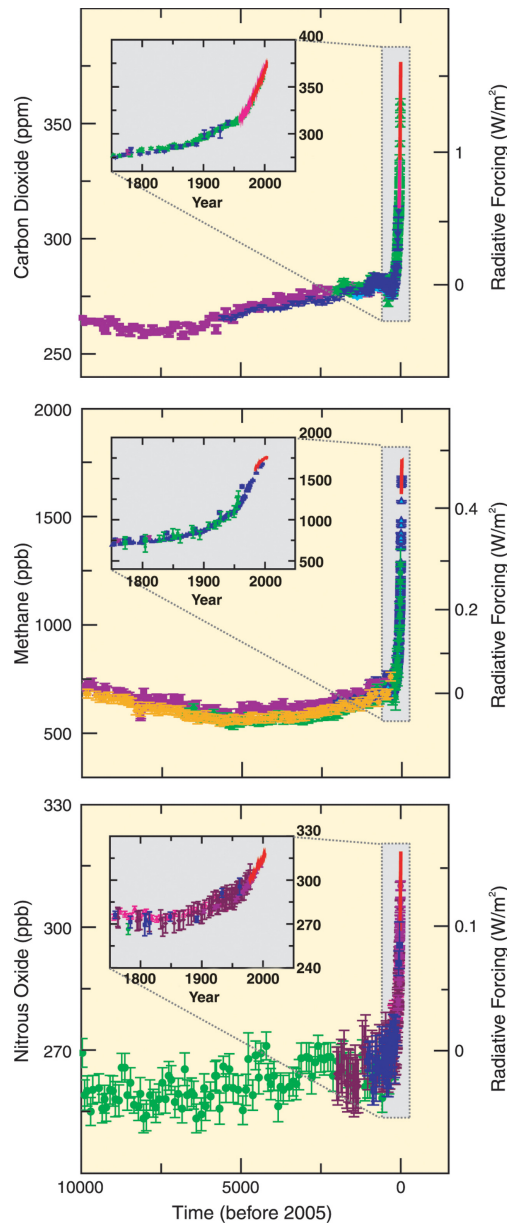
24 Os três primeiros são gases naturais, enquanto os três últimos são gases produzidos pelo homem (são gases de produção antrópica).

25 No Anexo I do Protocolo de Quioto são listados os países que têm metas a cumprir no primeiro período de compromisso.

26 No caso dos Países Anexo I, documento FCCC/SBI/2009/12; para países não-Anexo I, o documento é o FCCC/SBI/2005/18/Add.2. Ambos estão disponíveis no sítio da UNFCCC.

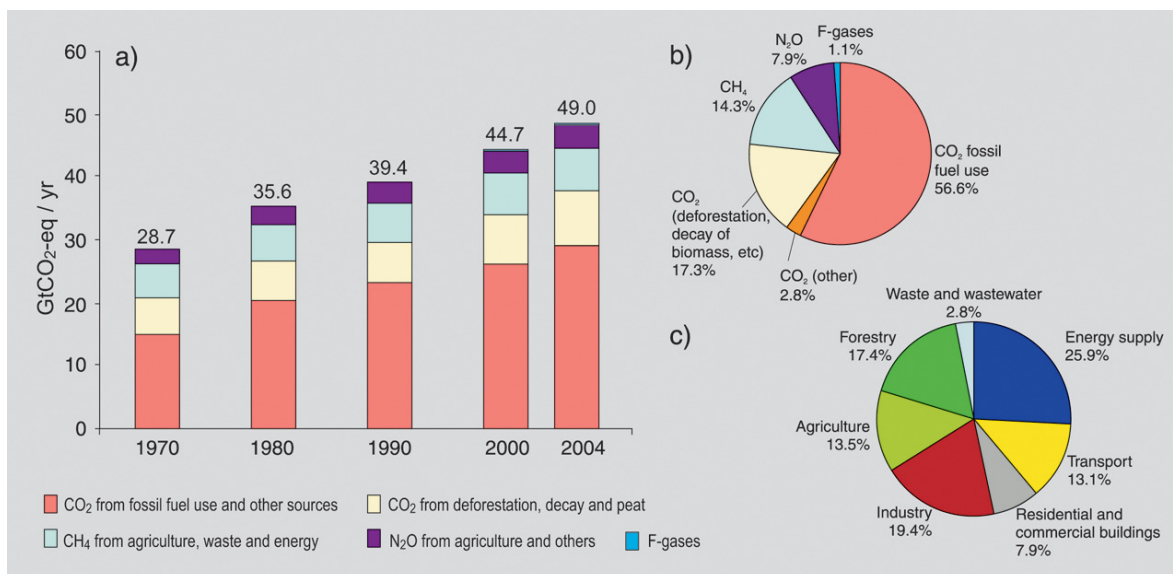
cada gás, em destaque, é mostrada a evolução das emissões no período Pós Revolução Industrial.

Já na Figura 59 é apresentada a evolução das emissões totais de GEE no período 1970-2004 (em  $\text{CO}_{2\text{equivalente}}/\text{ano}$ ) e o perfil das emissões em meados da presente década, tanto considerando as emissões por gases (e por origem) quanto o setor econômico-social emissor. Os dados são estimados, pois a informação oficial recente é apenas aquela que corresponde aos Inventários Nacionais que devem ser entregues por cada Parte a cada ano e às Comunicações, que devem ser entregues com menor regularidade.



Fonte: IPCC (2007)

**Figura 58 - Evolução das concentrações de dióxido de carbono, de metano e de óxido nítrico na atmosfera, em anos anteriores a 2005, e no período Pós Revolução Industrial (em destaque)**



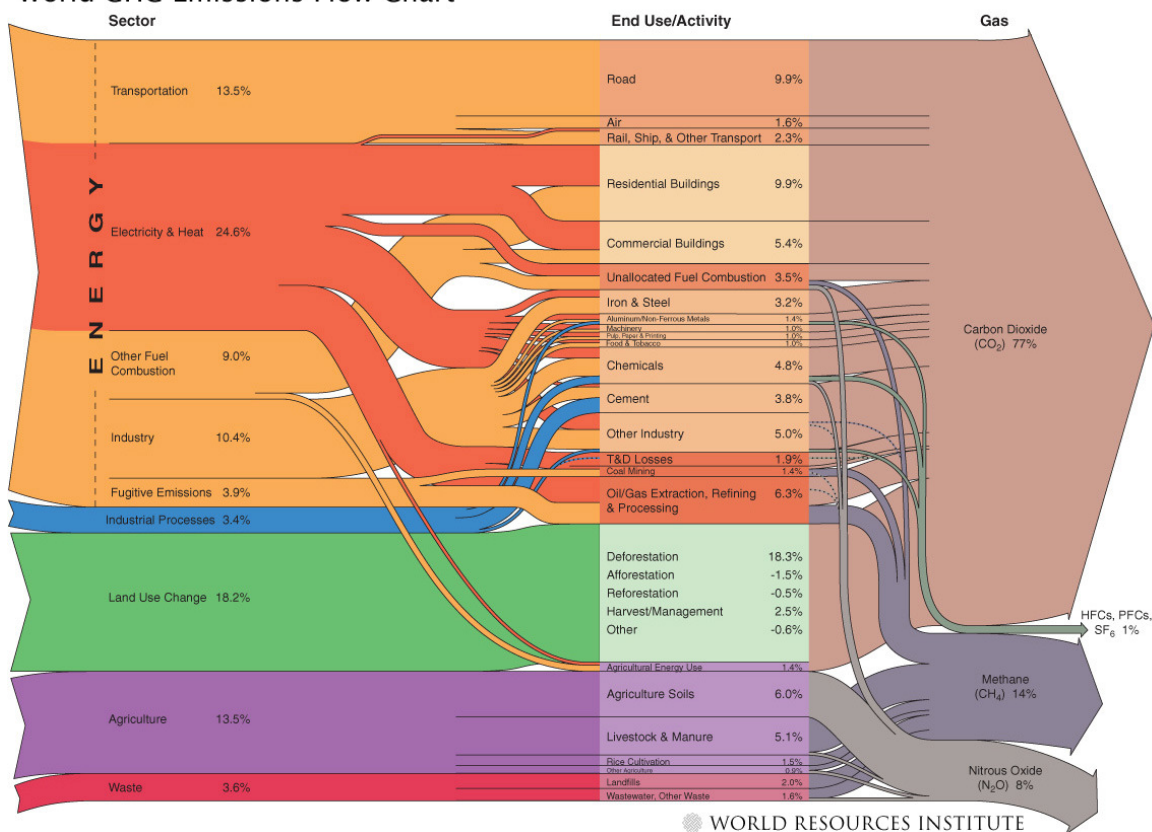
Fonte: IPCC (2007)

**Figura 59 - Evolução das emissões totais de GEE no período 1970-2004 (em GtCO<sub>2</sub>equivalente/ano) e perfil das emissões em meados da presente década.**

A contribuição das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à queima de combustíveis fósseis é estimada em 57%, mas as emissões de GEE (incluídas as emissões de outros gases, além do CO<sub>2</sub>) associadas ao uso da energia (consideradas as emissões nas etapas de produção, transformação e consumo) estão entre 60 e 65% das emissões totais. Na Figura 59, as emissões no suprimento de energia ("energy supply") correspondem às emissões na geração de eletricidade, no refino de petróleo, na extração, etc. As emissões nos setores de transportes e residencial e comercial são todas associadas ao uso de energia. Já as emissões de GEE no setor industrial são majoritariamente associadas ao uso de energia, enquanto as emissões na agricultura associadas à energia são minoritárias.

Na Figura 60 é apresentada estimativa do World Resources Institute relativa às emissões de GEE no mundo, em 2007 (WRI, 2009). As emissões devido ao desmatamento são estimadas em 18,3% das emissões totais. As emissões associadas às cadeias energéticas somam 61,4% do total. Observa-se boa aproximação com os resultados apresentados pelo IPCC em seu quarto relatório (ver Figura 59).

## World GHG Emissions Flow Chart



Fonte: WRI (2009)

**Figura 60 - Perfil estimado das emissões mundiais de GEE em 2007, por gás e por setor da economia**

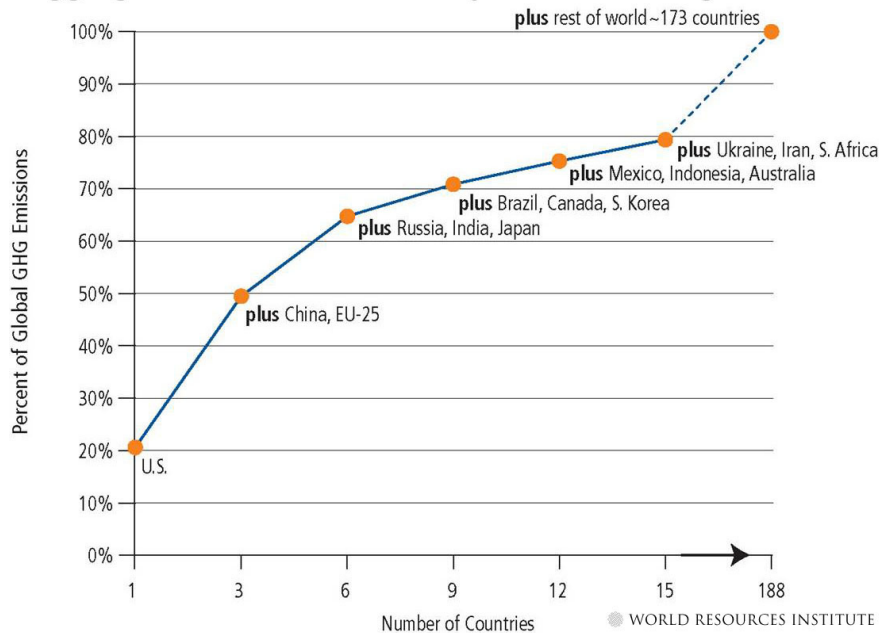
Especificamente em relação às emissões associadas às cadeias energéticas, as maiores contribuições estão na geração de eletricidade e calor, e no setor de transportes. No setor de transportes, a expectativa é que as emissões cresçam mais do que em outros setores da economia, pois o consumo de energia em transportes tem crescido mais do que em qualquer outro setor<sup>27</sup>. A importância das emissões na geração de eletricidade e no setor de transportes justifica o destaque dado a ambos neste relatório, quando da análise de tendências e de ações de mitigação.

Ainda baseado no World Resources Institute, observa-se na Figura 61 que 70% das emissões totais de GEE são devidas a poucos países (Estados Unidos – participação estimada de 20% - e China – 21%, os dois maiores emissores, União Europeia – 15%, Rússia, Índia, China, Brasil, Canadá e Coreia do Sul).

27 Consideradas alternativas de mitigação das emissões de GEE, há alternativas mais claras na geração de eletricidade, como a energia nuclear, e a geração elétrica baseada em fontes renováveis (e.g., biomassa, solar, eólica, etc.).



### Aggregate Contributions of Major GHG Emitting Countries



Fonte: WRI (2009)

**Figura 61 - Emissões de GEE em 2007 – contribuição percentual dos principais emissores (países e blocos de países)**

Estima-se que a China já seja o maior emissor de GEE, tanto consideradas emissões totais quanto as emissões de dióxido de carbono associadas à queima de combustíveis fósseis. Os Estados Unidos estariam em segundo lugar. Índia e Brasil estão entre os cinco maiores emissores quando consideradas as emissões totais de GEE; a posição do Brasil deve-se à enorme contribuição do desmatamento, já que consideradas apenas as emissões de dióxido de carbono relativas ao uso da energia, a contribuição do Brasil é relativamente pequena.

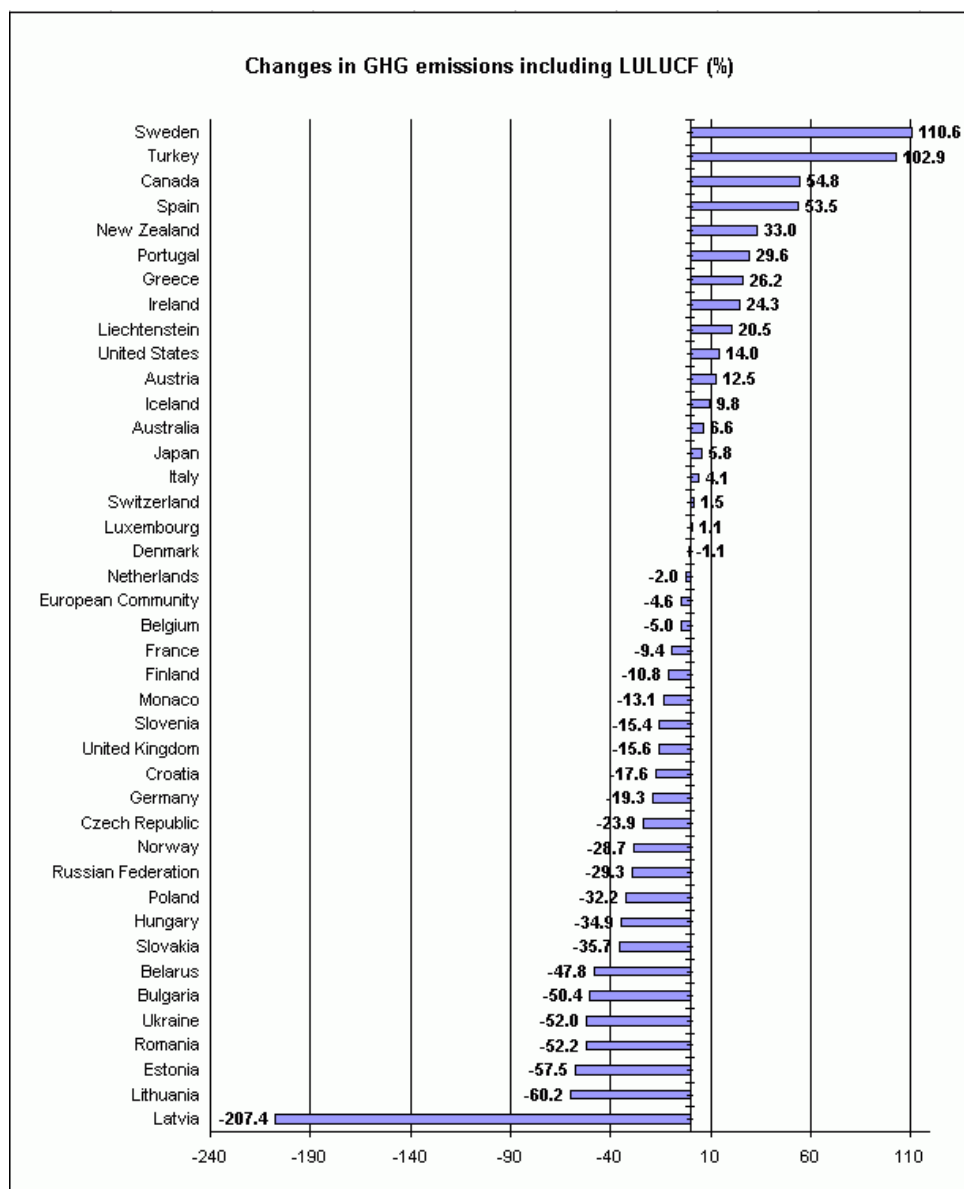
Na Tabela 60 são apresentados dados da United Nations Statistical Division (2009), para as emissões de dióxido de carbono unicamente devido à queima de combustíveis fósseis, em 2006, que no total foram estimadas em 28,9 GtCO<sub>2</sub>. Como dito acima, a China já teria superado os EUA, e juntos os dois países respondem por 41,8% das emissões de CO<sub>2</sub>. Apenas consideradas as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à queima de combustíveis, o Brasil estaria em décimo oitavo lugar.

Na Figura 62 é apresentada a variação percentual das emissões de GEE, dos países Anexo I, no período 1990-2006. Entre as Partes que tiveram significativa redução das emissões no período, há várias que são países do Leste Europeu, e nos quais a transição da economia pós 1989-1990 implicou severa redução das emissões. Entre os países da Europa Ocidental que tiveram significativa redução de emissões no período, destacam-se Noruega, Alemanha, Reino Unido, Finlândia, França e Bélgica. Como pode ser visto, há vários países muito distantes de cumprir as metas do Primeiro Período de Compromisso do Protocolo de Quioto.

**Tabela 60 - Emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis fósseis, em 2006 – emissões por país e contribuição percentual**

	Country	MtCO2	% total	% sum
1	China	6 103,49	21,1%	21,1%
2	United States	5 975,10	20,7%	41,8%
3	Russian Federation	1 577,69	5,5%	47,2%
4	India	1 510,35	5,2%	52,4%
5	Japan	1 273,60	4,4%	56,8%
6	Germany	880,25	3,0%	59,9%
7	Canada	560,39	1,9%	61,8%
8	United Kingdom	557,86	1,9%	63,7%
9	Italy	488,04	1,7%	65,4%
10	Korea, Republic of	475,25	1,6%	67,1%
11	Iran (Islamic Republi	466,98	1,6%	68,7%
12	Mexico	436,15	1,5%	70,2%
13	South Africa	414,65	1,4%	71,6%
14	France	408,69	1,4%	73,0%
15	Australia	390,44	1,3%	74,4%
16	Saudi Arabia	381,56	1,3%	75,7%
17	Spain	359,63	1,2%	77,0%
18	Brazil	352,52	1,2%	78,2%
19	Ukraine	344,53	1,2%	79,4%
20	Indonesia	333,48	1,2%	80,5%

Fonte: UNSD (2009)



Fonte: UNFCC (2009)

Nota: Na figura a informação relativa à Suécia está errada (erro do próprio país em seu Inventário; a informação correta é redução de 0,27% no período 1990-2006).

**Figura 62 - Variações das emissões de GEE entre 1990 e 2006, incluindo Mudança do Uso da Terra e Desmatamento, para os países Anexo I**

Para o Brasil, são apresentadas a seguir informações preliminares do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. A versão preliminar foi apresentada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia em Novembro de 2009, dias antes da COP15, em Copenhague. O prazo limite para a submissão da chamada Segunda Comunicação Nacional à CQNUMCC é 31 de Março de 2011. O período tratado nessa Comunicação é 2000-2004. A Primeira Comunicação Nacional do Brasil, relativa ao período 1990-1994, foi divulgada no início da presente década (MCT, 2004).

Estima-se que as emissões brasileiras de GEE cresceram 62% no período 1990-2005, de 1,36 GtCO<sub>2</sub> em 1990 para 2,20 GtCO<sub>2</sub> em 2005. O crescimento verificado no uso de energia é equivalente ao ocorrido na mudança do uso do solo e no

desmatamento – da ordem de 70%. Consideradas as emissões totais de GEE, a contribuição do Brasil (estimada) em relação às emissões mundiais supera 4%.

**Tabela 61 - Emissões de GEE (em 1000 tCO<sub>2</sub>/ano), no Brasil, em 1990 e em 2005 (resultados preliminares), taxas de variação e participações percentuais**

Setor	1990	1994	2000	2005	Varição 1990/2005	Part. 1990	Part. 2005
	(Gg CO <sub>2</sub> eq)				(%)		
Energia	214922	256389	328089	362032	68	15,8	16,5
Processos Industriais	26686	28776	34657	37097	39	2,0	1,7
Agricultura	342073	373491	396171	480945	41	25,2	21,9
Mudança no Uso da Terra e Florestas	746429	789534	1246968	1267889	70	55,0	57,7
Tratamento de Resíduos	27661	31804	40720	48945	77	2,0	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>1357770</b>	<b>1479994</b>	<b>2046605</b>	<b>2196908</b>	<b>62</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fonte: MCT (2009)

Em 1994, a parcela da categoria Mudança do Uso da Terra e Desmatamento em relação às emissões totais de GEE foi de 53% (quase 74% das emissões de dióxido de carbono no mesmo ano; ver Tabela 62), sendo que essa contribuição cresceu para quase 58% em 2005 (76% das emissões de dióxido de carbono). As emissões devidas às Mudanças do Uso da Terra e Desmatamento na Amazônia corresponderam a 36% das emissões brasileiras totais de GEE em 2005, enquanto no Cerrado tais alterações contribuíram com 17% das emissões totais.

Em relação ao Uso da Energia, as maiores emissões são devido à queima de combustíveis fósseis em transportes (34% das emissões em energia em 2005, e quase 6% das emissões totais).

No Brasil, em 2005, as emissões de GEE associadas à agricultura contribuíram com 21% das emissões totais, mas têm crescido menos do que em outros setores da economia (exceto as indústrias). De acordo com os dados preliminares do MCT, mais da metade das emissões na agricultura (52%, e, portanto, 11% de todas as emissões nacionais) são devido à fermentação entérica de animais, principalmente do gado de corte. Outra parcela significativa – 41% das emissões na agricultura, e 9% das emissões totais – é devido a emissões de N<sub>2</sub>O em solos agrícolas, categoria na qual a pecuária tem grande importância (cerca de 4% das emissões totais) devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados e à deposição de dejetos animais. Portanto, pelo menos 16% das emissões totais de GEE em 2005 são emissões diretas da pecuária<sup>28</sup>, e essas são equivalentes às emissões totais na categoria Uso da Energia.

Já as emissões de GEE nas indústrias são menos importantes. Somando as emissões da queima de combustíveis às emissões associadas aos processos

<sup>28</sup> Em relação às emissões totais de GEE estimadas em 2005, 16,5% são devidas à pecuária (sendo 11,5% devido à fermentação entérica – emissões de CH<sub>4</sub>), 0,9% devido ao manejo de dejetos animais (emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) e 4,1% devido emissões de N<sub>2</sub>O em solos agrícolas decorrentes da deposição de dejetos animais em pastagens (MCT, 2009).

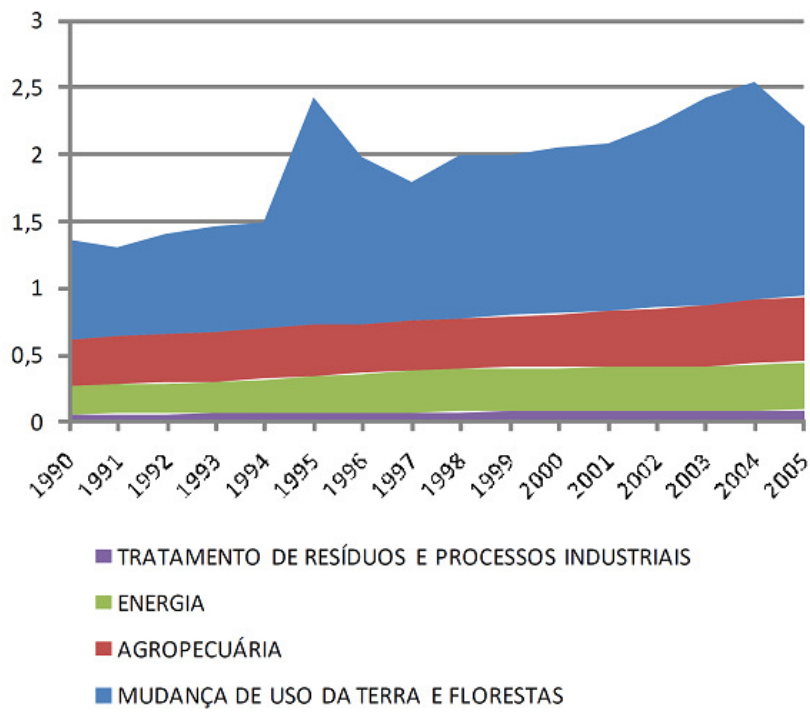
industriais, a contribuição das indústrias é de quase 7% em relação às emissões totais.

**Tabela 62 - Emissões de dióxido de carbono (em 1000 tCO<sub>2</sub>/ano) no Brasil em 1990 e em 2005 (resultados preliminares), taxas de variação e participações percentuais**

Setor	1990	1994	2000	2005	Varição 1990/2005	Part. 1990	Part. 2005
	(Gg) <sup>1</sup>				(%)		
<b>Energia</b>	203217	245672	316451	346990	71	21,8	22,0
Queima de Combustíveis Fósseis	195766	238097	305889	333077	70	21,0	21,2
Subsetor Energético	22176	30643	40861	48454	119	2,4	3,1
Subsetor Industrial	64903	81913	105466	114620	77	7,0	7,3
Indústria Siderúrgica	26441	38253	40618	46418	76	2,8	2,9
Indústria Química	8610	9099	14056	14746	71	0,9	0,9
Outras Indústrias	29853	34560	50792	53456	79	3,2	3,4
Subsetor Transporte	82235	94256	124197	136155	66	8,8	8,6
Transporte Aéreo	5824	6210	9424	7689	32	0,6	0,5
Transporte Rodoviário	71339	83224	110604	123175	73	7,7	7,8
Outros Meios de Transporte	5072	4821	4169	5291	4	0,5	0,3
Subsetor Residencial	13817	15212	17015	15429	12	1,5	1,0
Subsetor Agricultura	10052	12527	14051	14808	47	1,1	0,9
Outros Setores	2584	3546	4300	3611	40	0,3	0,2
Emissões Fugitivas	7451	7575	10562	13913	87	0,8	0,9
Mineração de Carvão	1654	1355	1581	1792	8	0,2	0,1
Extração e Transporte de Petróleo e Gás Natural	5797	6220	8981	12121	109	0,6	0,8
<b>Processos Industriais</b>	19456	19038	26235	25438	31	2,1	1,6
Produção de Cimento	11062	10086	16047	14349	30	1,2	0,9
Produção de Cal	3688	4098	5008	5356	45	0,4	0,3
Produção de Amônia	1683	1689	1663	1922	14	0,2	0,1
Produção de Alumínio	1184	1502	1604	1846	56	0,1	0,1
Outras Indústrias	1840	1663	1913	1966	7	0,2	0,1
<b>Mudança no Uso da Terra e Florestas</b>	709073	747785	1183081	1202134	70	76,1	76,3
Mudança no Uso da Terra	703969	738794	1174363	1194659	70	75,6	75,9
Bioma Amazônia	410069	444893	694028	714324	74	44,0	45,4
Bioma Cerrado	188679	188679	379239	379239	101	20,3	24,1
Outros Biomas	105221	105221	101097	101097	-4	11,3	6,4
Aplicação de Calcário nos solos	5103	8991	8717	7474	46	0,5	0,5
<b>TOTAL</b>	931746	1012496	1525767	1574562	69	100,0	100,0

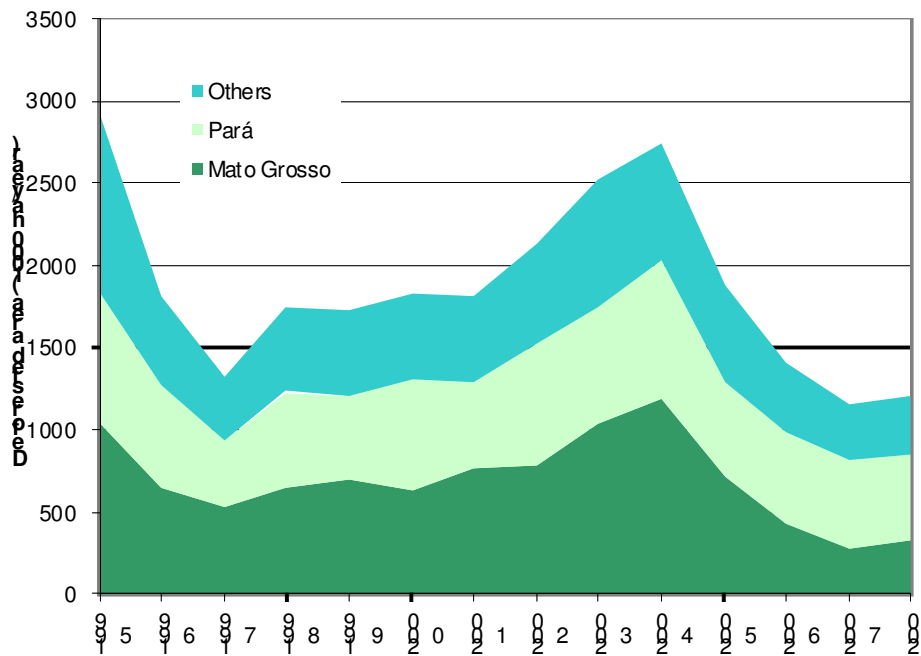
Fonte: MCT (2009)

Na Figura 63 é apresentada estimativa de evolução das emissões brasileiras de GEE no período 1990-2005 (em GtCO<sub>2</sub>eq/ano; de 1,36 para 2,20). Devido à grande importância das emissões associadas à Mudança do Uso da Terra e ao Desmatamento, o comportamento das emissões totais é fortemente influenciado pela evolução do desmatamento, principalmente na Amazônia Legal. Com efeito, a Figura 64 mostra a evolução do desmatamento nessa região, no período 1995-2008: pode-se observar picos de desmatamento em 1995 e em 2004, que também explicam os picos de emissões de GEE nos mesmos anos, como pode-se observar na Figura 63. A queda das emissões totais de GEE de 2004 a 2005 deve-se a redução do desmatamento após 2004.



Fonte: MCT (2009)

**Figura 63 - Evolução das emissões brasileiras de GEE no período 1990-2005 (valores em GtCO<sub>2</sub>eq/ano)**



Fonte: INPE (2009)

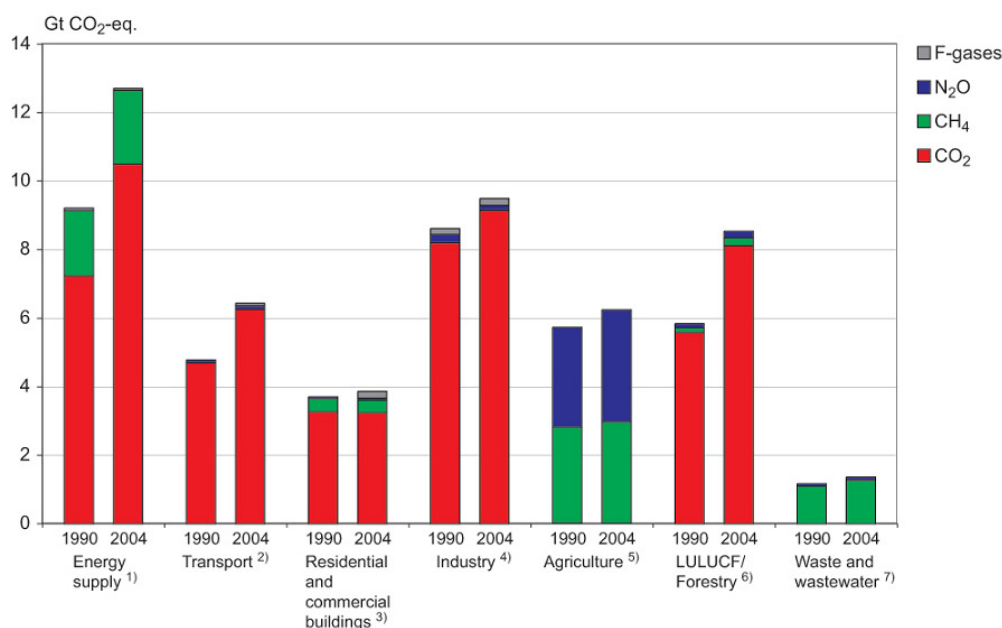
Figura 64 - Áreas desmatadas na Amazônia Legal, de 1995 a 2008 (estimativas para 2008)

## 2.1.3 Perspectivas de evolução das emissões

### 2.1.3.1 Evolução das emissões no mundo – uso de energia

Em âmbito mundial a maior parcela das emissões de GEE (cerca de 2/3) está associada ao setor energético. A melhor avaliação de perspectivas é a dos estudos prospectivos de instituições como a Agência Internacional de Energia (AIE) e do Energy Information Administration, do Department of Energy, dos Estados Unidos (EIA-DOE). Aqui, são apresentados resultados do World Energy Outlook 2009 (WEO 2009), da AIE, que tem como horizonte o ano 2030, e o estudo Energy Technology and Perspectives 2008 – Scenarios & Strategies to 2050, também da AIE.

Em 2004, quase 2/3 das emissões antropogênicas totais de CO<sub>2</sub> em energia foram decorrentes da geração de eletricidade e calor (41%) e do uso de energia no setor de transportes (23%) (IPCC, 2007). Em ambos setores, as taxas de crescimento são maiores do que a média do consumo de energia, como um todo, conforme pode ser observado na Figura 65. Consideradas as emissões totais de GEE, o crescimento das emissões entre 1990 e 2004 nos dois setores só foi comparável ao crescimento verificado devido à mudança do uso da terra e ao desmatamento.



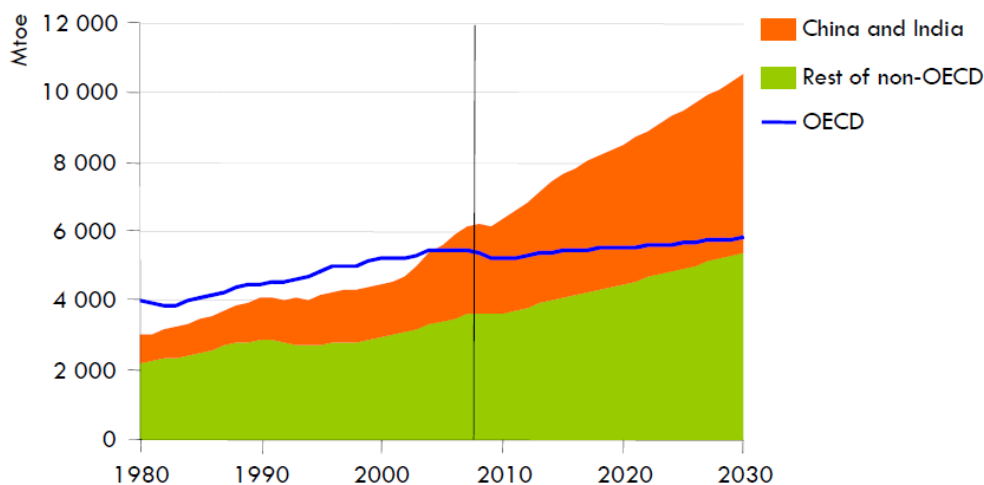
Fonte: IPCC (2007)

Figura 65 - Emissões totais de GEE em 1990 e 2004, em diferentes setores da economia, e para os principais gases

Segundo a AIE (IEA, 2009), no Cenário Referência do World Energy Outlook 2009 a demanda de energia primária crescerá 40% até 2030, em relação a 2007. O maior crescimento da demanda ocorrerá nos países em desenvolvimento da Ásia (principalmente na China e na Índia, mas não só nesses).

Na Figura 66 é apresentada a estimativa de evolução do consumo de energia até 2030 em países da OECD, na China e na Índia, e nos demais países não-OECD. O consumo de energia em países ainda não totalmente desenvolvidos (i.e., países

não-OECD) já teria superado o dos países desenvolvidos na primeira metade da presente década.



Fonte: IEA (2009)

**Figura 66 - Evolução do consumo de energia entre 1980 e 2030 (estimativas após 2007)**

De acordo com o estudo da AIE, de 2007 a 2030 a demanda de petróleo pode crescer de 85 Mbrl/dia para 105 Mbrl/dia. Todo crescimento líquido ocorreria em países em desenvolvimento, e 97% do crescimento seria por causa do setor de transportes (IEA, 2009).

Segundo a mesma referência, o consumo de energia elétrica, que deve crescer 2,5% a.a. no período 2007-2030, explicaria em grande parte o crescimento do suprimento de carvão mineral e de gás natural. Grande parte (80%) do crescimento do consumo de energia elétrica deverá ocorrer em países em desenvolvimento (IEA, 2009), principalmente em países que tendem a usar com mais intensidade carvão mineral na matriz de geração elétrica (e.g., China e Índia).

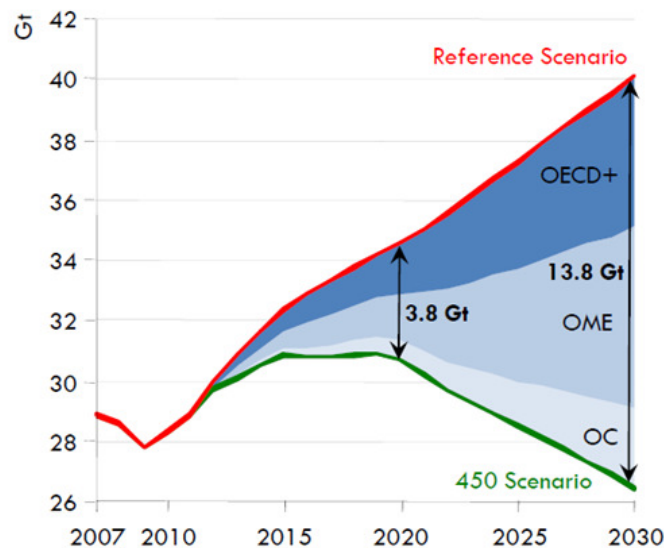
E mais, o crescimento da capacidade instalada de geração de energia elétrica teria de ser de 4.800 GW no período 2007-2030, sendo que 28% desse crescimento ocorreria na China. O aumento da capacidade seria equivalente a cinco vezes a capacidade instalada nos EUA, e 48 vezes a capacidade instalada no Brasil.

Ainda no Cenário Referência desse estudo (IEA, 2009), os investimentos acumulados requeridos seriam de 26 trilhões de US\$, ou algo como 1,1 trilhão de US\$ por ano. Estima-se que 53% do investimento teriam de ocorrer na geração de potência elétrica; 50% do investimento total ocorreria em países em desenvolvimento (IEA, 2009).

As emissões de CO<sub>2</sub> devido à produção e ao uso de energia são estimadas em 28,8 GtCO<sub>2</sub> em 2007 e, no Cenário Referência do estudo da AIE, em 40,2 GtCO<sub>2</sub> em 2030 (IEA, 2009). A taxa de crescimento no período seria 1,5% a.a. Nesse caso, o aumento líquido das emissões, quase 11 GtCO<sub>2</sub>, ocorreria sobretudo na China (6 GtCO<sub>2</sub>), Índia (2 GtCO<sub>2</sub>) e Oriente Médio (1 GtCO<sub>2</sub>). As emissões dos países desenvolvidos seriam reduzidas no período (não apenas para a mitigação das Mudanças Climáticas, mas também para aumentar a segurança de suprimento energético).



No mesmo estudo da AIE (WEO 2009) (IEA, 2009), é explorado o Cenário 450, que está associado ao esforço de estabilização das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera em 450 ppmv. Nele, as emissões de CO<sub>2</sub> chegariam ao nível máximo pouco antes de 2020 (30,9 GtCO<sub>2</sub>) e teriam que ser reduzidas a partir de então, chegando em 2030 a 26,4 GtCO<sub>2</sub> (13,8 GtCO<sub>2</sub> menos do que no Cenário Referência). Na Figura 67 é apresentada a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> nos dois cenários, entre 2007 e 2030.



Fonte: IEA (2009)

**Figura 67 - Projeção das emissões de dióxido de carbono associadas à produção e ao consumo de energia até 2030 – Cenário Referência e Cenário 450**

A redução das emissões teria de ocorrer em todos os países, tanto nos países industrializados (basicamente países Anexo I – OECD na figura), quanto nos países emergentes e em desenvolvimento (não-Anexo I; OME – Other Major Economies e OC – Other Countries).

De acordo com o estudo da AIE, a redução das emissões em 2030, na comparação entre os dois cenários (13,8 GtCO<sub>2</sub>) seria alcançada principalmente com aumento da eficiência de conversão e no uso final de energia (57%), mas também com o maior uso de fontes renováveis de energia, inclusive biocombustíveis, em substituição às fontes fósseis (23%), na adoção da tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCS – da expressão em Inglês Carbon Capture and Storage), principalmente na geração de eletricidade (10%) e na geração elétrica nuclear em substituição ao uso de carvão mineral (10%).

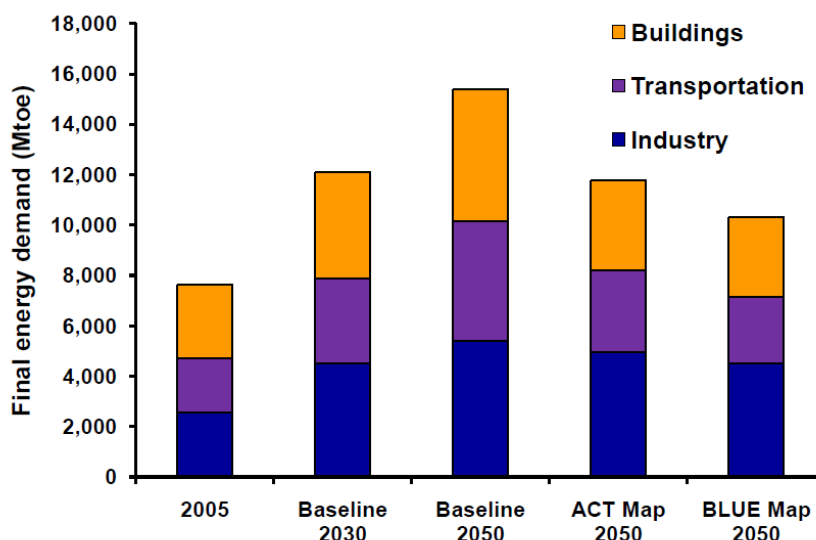
No período 2007-2030, os investimentos adicionais do Cenário 450 em relação ao Cenário Referência seriam de 10,5 trilhões de US\$ (totalizando 36,5 trilhões de US\$). Estima-se que 45% dos investimentos adicionais seriam no setor de transportes.

A Agência Internacional de Energia tem feito estudos prospectivos, com o horizonte em 2050, explorando alternativas de redução das emissões de GEE associadas ao

consumo de energia. Duas edições foram publicadas, em 2006 e 2008. A seguir são apresentadas algumas informações da segunda edição (IEA, 2008).

No estudo são exploradas alternativas de redução das emissões de GEE, que poderiam resultar na estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> em 450 ppmv, em 2050. Em parte, o estudo se baseia no World Energy Outlook então disponível – no caso, o estudo publicado em 2008, o WEO 2007. O Cenário Referência em 2050 é resultado da continuidade das tendências consideradas no World Energy Outlook. Um cenário de drástica redução das emissões de GEE é explorado, e que estaria associado à estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> em 450 ppmv. No caso da última edição do estudo (IEA, 2008), esse cenário é chamado BLUE Map.

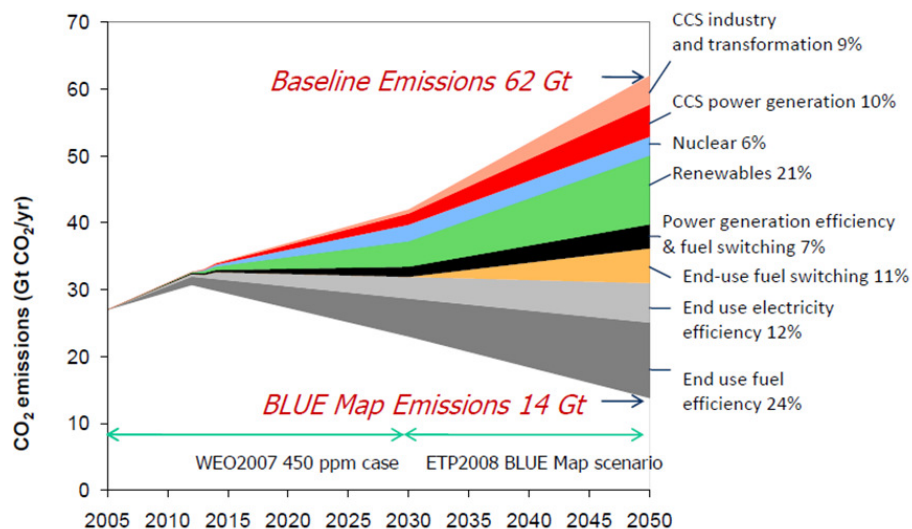
Na Figura 68 são apresentadas as demandas finais de energia em 2005, 2030 e 2050, no caso do Cenário Referência, e as projeções em dois cenários alternativos. A demanda projetada para 2030 é maior do que a projetada no WEO 2009, por conta dos impactos da crise econômica de 2008-2009 (não refletidos no estudo que tem como horizonte final 2050). Em 2050, no Cenário BLUE Map, a demanda de energia seria da ordem de 10 Gtoe, contra mais de 15 Gtoe do Cenário Referência.



Fonte: IEA (2008)

**Figura 68 - Projeção da demanda final de energia em 2030 e 2050 – Cenário Referência e cenários de redução das emissões de GEE**

No Cenário BLUE Map, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao uso de energia teriam de ser muito menores em 2050 em relação às emissões projetadas no caso Referência – 14 GtCO<sub>2</sub> versus 62 GtCO<sub>2</sub>, e 50% menores do que as emissões de CO<sub>2</sub> em 2005. Na Figura 69 é apresentada a projeção das emissões nos dois cenários extremos, e as contribuições percentuais das principais tecnologias e fontes de energia.



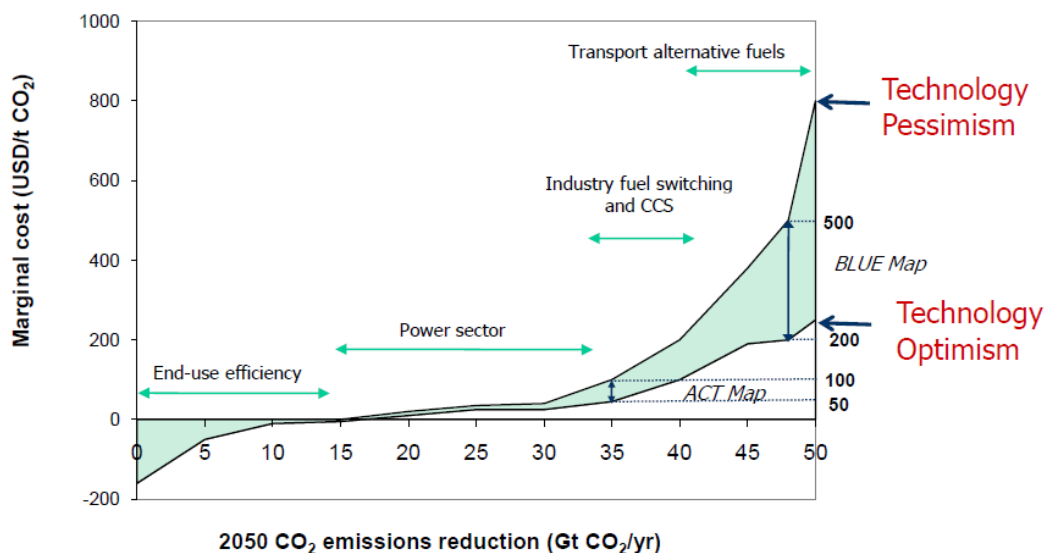
Fonte: IEA (2008)

**Figura 69 - Projeção das emissões de dióxido de carbono associadas à produção e ao consumo de energia até 2050 – Cenário Referência e Cenário BLUE Map**

Da Figura 69 conclui-se que as principais contribuições viriam do aumento da eficiência energética, principalmente no uso final da energia. Com efeito, são essas as alternativas de menor custo por unidade de emissão evitada, e os custos são, em vários casos, negativos. Pode-se também observar que as fontes renováveis de energia, principalmente na geração de eletricidade e em transportes, dariam importante contribuição, assim como a captura e o armazenamento de carbono, na geração de eletricidade, na transformação e na indústria.

Na Figura 70 é apresentada, como ilustração, esquema da curva de custos marginais de medidas de mitigação das emissões de GEE, considerado o horizonte 2050. Esquemáticamente, as medidas que correspondem ao aumento da eficiência do uso final de energia são alocadas à esquerda, indicando que os custos são negativos ou muito baixos<sup>29</sup>.

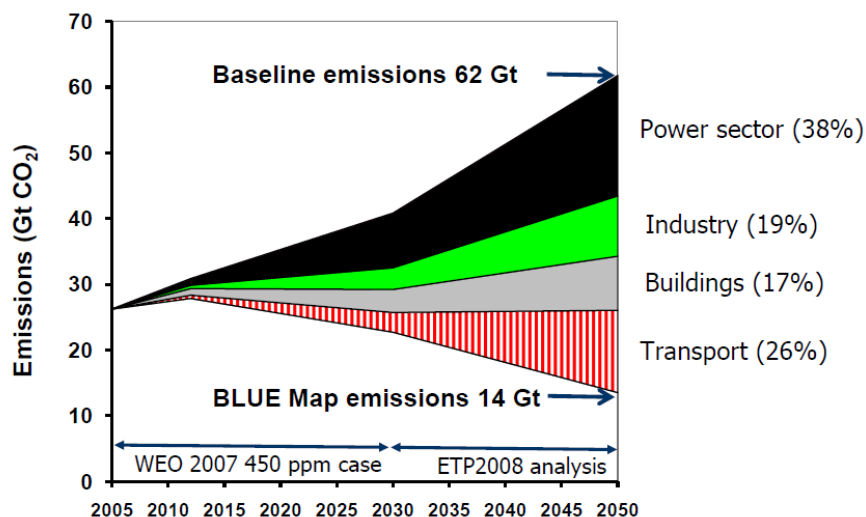
29 Custos negativos correspondem à situação de viabilidade econômica das medidas, ou seja, o aumento da eficiência no uso final da energia já é viável economicamente. A questão é que na prática, embora haja viabilidade econômica, o potencial dificilmente pode ser aproveitado, em função de várias barreiras.



Fonte: IEA (2009)

**Figura 70 - Curva de custos marginais de medidas de mitigação das emissões de GEE em relação ao potencial associado.**

Na Figura 71 são apresentadas as contribuições dos principais setores da economia para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 2050, segundo estudo da AIE (IEA, 2008). Mais de 60% das reduções teriam de ser alcançadas na geração de eletricidade e no setor de transportes, o que justifica a escolha de ambos nas análises mais detalhadas que são feitas mais a frente.



Fonte: IEA (2008)

**Figura 71 - Projeção das emissões de dióxido de carbono associadas à produção e ao consumo de energia até 2050 e reduções das emissões por setor da economia – Cenário Referência e Cenário BLUE Map**

### 2.1.3.2 Evolução das emissões no Brasil

Neste relatório, no que diz respeito ao uso da energia, a referência para análise das perspectivas de evolução das emissões de GEE no Brasil, até 2030, é o PNE 2030 (EPE, 2008). Entretanto, deve ser destacado que a evolução do setor energético no Brasil, nos últimos anos, tem sido significativamente diferente da que é apresentada naquele estudo. O Cenário B1 do PNE 2030 foi adotado como Cenário Referência, e nele as hipóteses de crescimento econômico são intermediárias entre os cenários mais pessimista e mais otimista.

Já para a análise das alternativas de mitigação do conjunto das emissões de GEE, que são detalhadas na próxima seção, a referência é o Cenário de Baixas Emissões de GEE apresentado no estudo coordenado pelo Banco Mundial, divulgado em Junho de 2010, e que considera vários setores da economia (Gouvello, 2010). No estudo do Banco Mundial, o PNE 2030 foi considerado na definição do Cenário Referência quanto ao uso da energia.

O estudo do Banco Mundial tem como horizonte o ano 2030, e as emissões em 2008 foram estimadas para ser ter um ano referencial. É importante observar que a comparação das emissões em 2008, em relação às emissões até agora estimadas pelo MCT para 2005, não é possível. Primeiro, no próprio relatório do Banco Mundial há a declaração explícita de que nem todas as fontes de emissões foram consideradas, e que há diferenças metodológicas em relação ao Inventário. Segundo, nos dois casos os valores apresentados são estimativas e, no caso do Inventário, os valores consolidados ainda não são conhecidos. Terceiro, as emissões foram classificadas em categorias distintas, o que dificulta a comparação. Quarto, as emissões na categoria Mudança do Uso da Terra e Desmatamento foram sensivelmente alteradas após 2004, como anteriormente comentado.

Na Tabela 63 são apresentadas as emissões estimadas de GEE em 2005 e 2008, nos principais setores econômicos emissores.

**Tabela 63 - Emissões estimadas de GEE no Brasil, em 2005 e 2008, em MtCO<sub>2</sub>, e contribuições percentuais (entre parênteses).**

Setor <sup>1</sup>	2005 <sup>2</sup>	2008 <sup>3</sup>
Energia <sup>4</sup>	362 (16,5)	232 (18,0)
Transporte		149 (11,6)
Resíduos	49 (2,2)	62 (4,8)
Desmatamento <sup>5</sup>	1268 (57,7)	536 (41,6)
Pecuária <sup>6</sup>		237 (18,4)
Agricultura <sup>6</sup>	481 (21,9)	72 (5,6)
Processos Industriais <sup>7</sup>	37 (1,7)	
Total	2197 (100)	1288 (100)

Notas: <sup>1</sup> Classificação adotada pelo MCT na versão do inventário de Emissões 2000-2005

<sup>2</sup> Fonte: MCT (2009)

<sup>3</sup> Fonte: Gouvello (2010)

<sup>4</sup> No Inventário 2000-2004, as emissões totais de GEE na categoria Energia são aquelas devido à produção, à conversão e ao uso de energia. No Estudo do Banco Mundial, as emissões no Setor de Transportes foram separadas; grosso modo, a figura de comparação seria entre 362 MtCO<sub>2</sub>e em 2005 e 381 MtCO<sub>2</sub>e em 2008 (232 + 149).

<sup>5</sup> As emissões de Desmatamento correspondem às emissões da categoria Mudança do Uso da Terra e Florestas no Inventário.

<sup>6</sup> As emissões das categorias Pecuária e Agricultura no estudo do Banco Mundial correspondem às emissões em Agricultura no Inventário; grosso modo, a comparação seria entre 481 MtCO<sub>2</sub>e em 2005 e 301 MtCO<sub>2</sub>e em 2008 (237 + 72).

<sup>7</sup> As emissões em processos industriais, não relacionadas à queima de combustíveis, não foram analisadas no estudo do Banco Mundial.

Apesar da impossibilidade de precisa comparação das estimativas de emissões de GEE em 2005 e 2008, é evidente que houve significativa redução dessas, por conta do menor desmatamento. Mas mesmo com menor desmatamento, as emissões que correspondem à Mudança do Uso da Terra e Florestas são ainda as maiores no Brasil, em função de suas especificidades<sup>30</sup>.

Como comentado anteriormente, as emissões diretas da produção agrícola e pecuária também são significativas no Brasil. As emissões de GEE na agricultura são oriundas do emprego de fertilizantes, das emissões de N<sub>2</sub>O, do cultivo de arroz, da queima de cana antes da colheita, e do consumo de combustíveis fósseis. Já as emissões da pecuária são, como anteriormente comentado, sobretudo resultantes da digestão entérica do gado de corte.

Na Tabela 64 são apresentadas estimativas de emissões de GEE em 2008 e 2030, considerando no caso de 2030 um cenário tendencial.

**Tabela 64 - Emissões estimadas de GEE (em MtCO<sub>2</sub>) em 2008 e 2030, participações percentuais (entre parênteses), e crescimento percentual no período**

Setor	2008	2030	Crescimento (%)
Energia	232 (18,0)	458 (26,7)	97
Transporte	149 (11,6)	245 (14,3)	64
Resíduos	62 (4,8)	99 (5,8)	60
Desmatamento	536 (41,6)	533 (31,0)	0
Pecuária	237 (18,4)	272 (15,8)	15
Agricultura	72 (5,6)	111 (6,5)	54
Total	1288 (100)	1718 (100)	33

Fonte: Gouvello (2010)

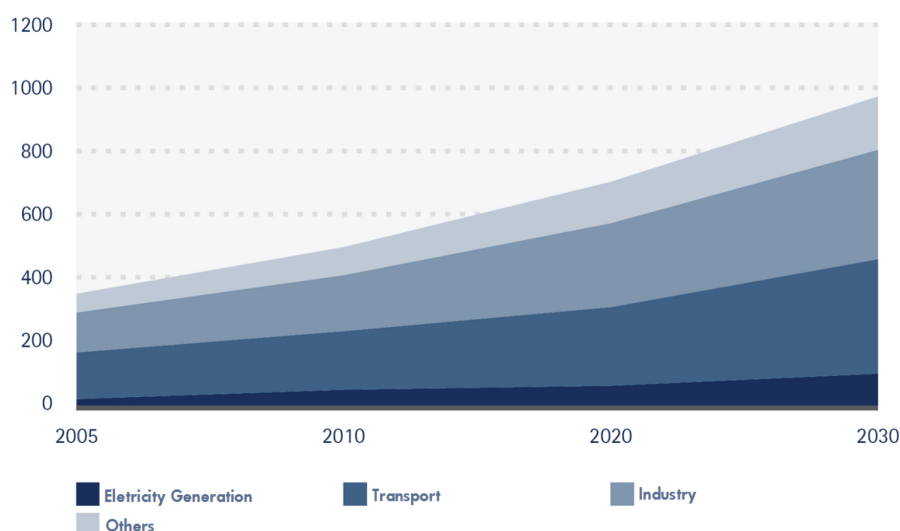
O PNE 2030 reflete uma visão em que a prioridade é uma matriz de geração elétrica mais equilibrada entre as diversas fontes de energia, embora o foco ainda seja o aproveitamento em larga escala do potencial remanescente de geração hidroelétrico. No setor de transportes, a substituição da gasolina automotiva por etanol reflete a tendência atual, e biodiesel substituiria pouco mais de 10% do consumo de óleo diesel projetado em 2030. No entanto, no setor de transportes o PNE 2030 reflete a manutenção da atual estrutura, com ênfase ao transporte de cargas por caminhões e ao transporte individual de passageiros.

Embora o PNE 2030 apresente resultados em que as fontes renováveis continuam a ter participação importante na matriz energética brasileira, as emissões de GEE devido ao Uso de Energia praticamente dobrariam no período 2008-2030, superando 800 MtCO<sub>2</sub> quando da soma das emissões do setor Energia com as do setor Transportes (ver Tabela 64).

30 A grande extensão de áreas não ocupadas, as condições apropriadas ao extrativismo, à agricultura e à pecuária, e os vários fatores que impulsionam o desmatamento (e.g., a ocupação de novas áreas, a demanda crescente por carne e produtos agrícolas, a fragilidade institucional).

De acordo com os resultados do PNE 2030, e para os fatores de emissões considerados, os setores de transporte e industrial seriam os que mais contribuiriam para as emissões de GEE associados ao Uso de Energia. Entretanto, as maiores taxas de crescimento de emissões de GEE ocorreriam na geração de eletricidade, por conta do maior número de térmicas a óleo e a carvão que seriam construídas e operariam mais regularmente. Mesmo assim, os fatores de emissão na geração de eletricidade continuariam muito baixos, passando de 0,094 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2010 para 0,069 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2020 e 0,079 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2030. Por outro lado, tendo em vista o perfil da expansão do setor elétrico nos últimos anos, e as novas regulações de operação do sistema, tais fatores de emissão refletem uma tendência conservativa, que dificilmente será alcançada<sup>31</sup>.

Na Figura 72 é apresentada estimativa de crescimento das emissões de GEE associadas ao Uso de Energia, no período 2005-2030, de acordo com as premissas básicas do PNE 2030. As emissões totais devido ao uso de energia em diferentes setores da economia chegariam a 970 MtCO<sub>2</sub> em 2030, ou 56% das emissões totais de GEE estimadas no estudo do Banco Mundial para 2030.



Fonte: Gouvello (2010)

**Figura 72 - Evolução das emissões de GEE, no Brasil, no Cenário Referência para Uso de Energia – 2005-2030**

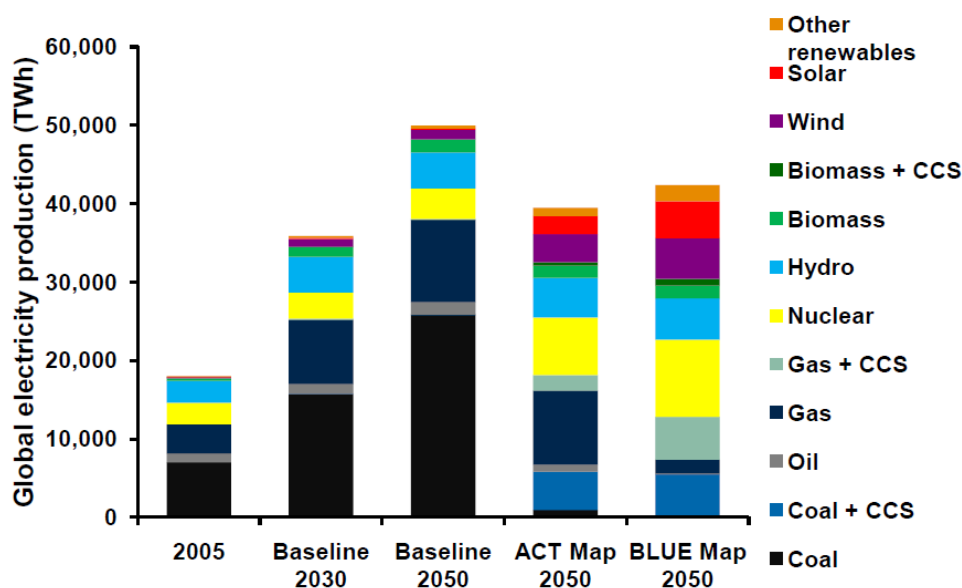
## 2.1.4 Alternativas de mitigação

### 2.1.4.1 Contexto mundial, relacionadas Uso de Energia

As alternativas de mitigação aqui analisadas dizem respeito à geração de eletricidade e ao setor de transportes, que são os dois maiores em emissões de GEE associadas ao uso da energia, e que têm perspectivas de crescimento acentuado nos cenários tendenciais.

31 Dificuldades na obtenção de licenças ambientais têm resultado em impedimentos à expansão hidrelétrica, e redução da capacidade de geração dos empreendimentos já viabilizados (licitados). Períodos menos favoráveis, hidrologicamente, tem obrigado a operação mais frequente de centrais termelétricas.

Na Figura 73 é apresentado o perfil de geração de eletricidade no mundo, em 2005, e projeções para 2030 e 2050 em um Cenário Referência. Também são apresentados resultados de dois cenários de baixas emissões, ambos para 2050. No Cenário BLUE Map, de mais baixas emissões, o consumo de eletricidade é maior em relação ao cenário alternativo devido à importância dos veículos elétricos. O perfil da geração elétrica em 2050, no cenário de baixas emissões, seria extremamente diversificado. Individualmente, a geração nuclear seria a mais importante alternativa, mas diversas fontes de energia e diversas tecnologias teriam relevância. Deve-se notar que nesse cenário não haveria geração elétrica tradicional a carvão mineral, mas sim em termelétricas com captura e armazenamento de carbono.



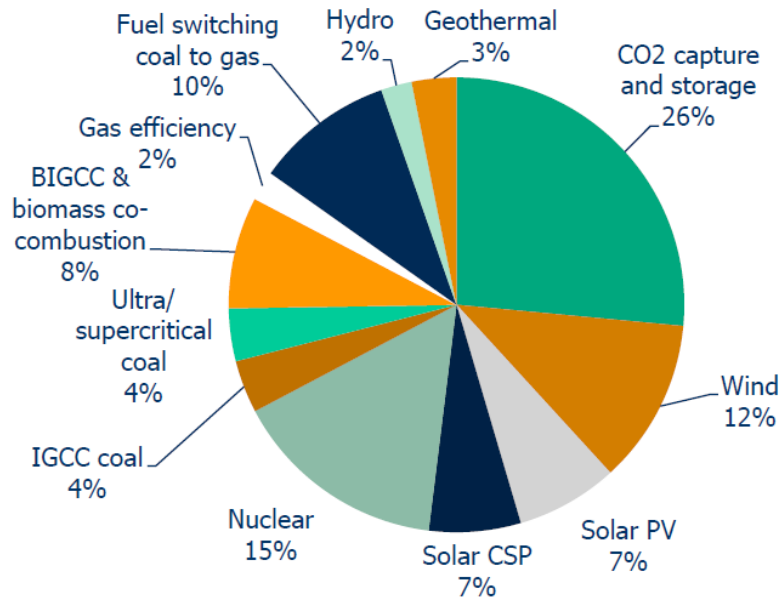
Fonte: IEA (2008)

**Figura 73 - Projeção da geração de eletricidade em cenário tendencial e em cenários de baixas emissões de GEE**

Em relação ao Cenário Referência, a redução das emissões de GEE na geração de eletricidade chegariam a 18 GtCO<sub>2</sub> em 2050, e a maior contribuição viria da construção/conversão de termelétricas a carvão mineral com captura e armazenamento de carbono. Como pode ser visto na Figura 74, uma fração significativa da capacidade de geração a ser instalada seria com uso de fontes renováveis de energia, tais como solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, geotérmica, e térmicas a biomassa.



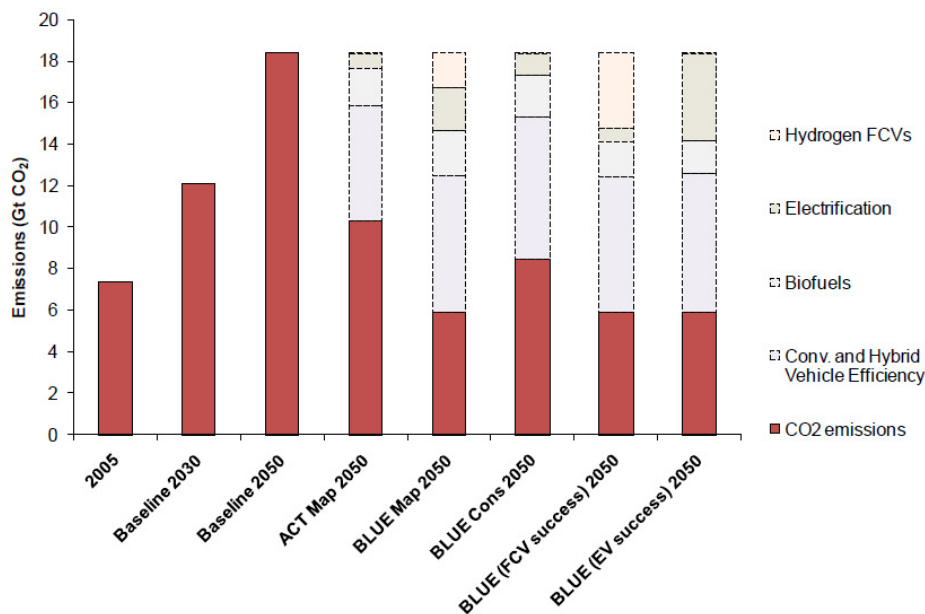
### BLUE Map 18 Gt CO<sub>2</sub> reduction



Fonte: IEA (2008)

**Figura 74 - Contribuição das várias fontes e das várias tecnologias de geração de eletricidade para a redução das emissões de GEE em 2050**

No setor de transportes, no Cenário BLUE Map, as emissões de GEE seriam reduzidas para menos de um terço daquelas projetadas no Cenário Referência, para 2050 (de mais de 18 GtCO<sub>2</sub> para aproximadamente 6 GtCO<sub>2</sub>). Mais da metade da redução de mais de 12 GtCO<sub>2</sub> (i.e., mais de 6 GtCO<sub>2</sub>) viria do amplo uso de veículos híbridos e do aumento da eficiência dos veículos convencionais. A contribuição dos biocombustíveis não chegaria a 2 GtCO<sub>2</sub>. As emissões de GEE no setor de transportes, e a contribuição para a redução nos cenários de baixas emissões, são apresentadas na Figura 75.

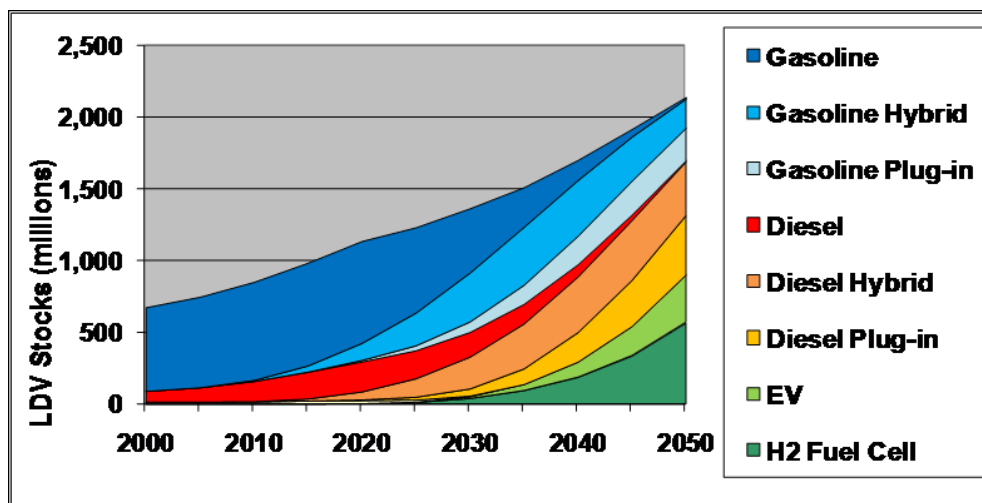


Fonte: IEA (2008)

**Figura 75 - Emissões de GEE no setor de transportes e contribuição das principais alternativas nos cenários de baixas emissões de GEE em 2050**

É importante destacar que a atual visão da AIE quanto aos biocombustíveis não lhes é muito favorável. No estudo mencionado (IEA, 2008), as alternativas são elencadas por seus custos (projetados) de mitigação das emissões de GEE (i.e., os custos marginais de mitigação, como anteriormente comentado), e os resultados da AIE são de que os veículos híbridos serão alternativas mais baratas do que os biocombustíveis.

Conforme pode ser visto na Figura 76, a frota de veículos leves crescerá sobremaneira mesmo no Cenário BLUE Map – seria praticamente três vezes maior em 2050 em relação ao ano 2000 – e a mesma seria muito diversificada quanto às tecnologias de motorização e às fontes de energia. Segundo a AIE, praticamente não haveria mais veículos convencionais puramente a gasolina em 2050, e os biocombustíveis seriam utilizados em veículos com motores de ciclo Otto, híbridos ou plug-in. Basicamente o mesmo ocorreria com os veículos com motores ciclo Diesel.

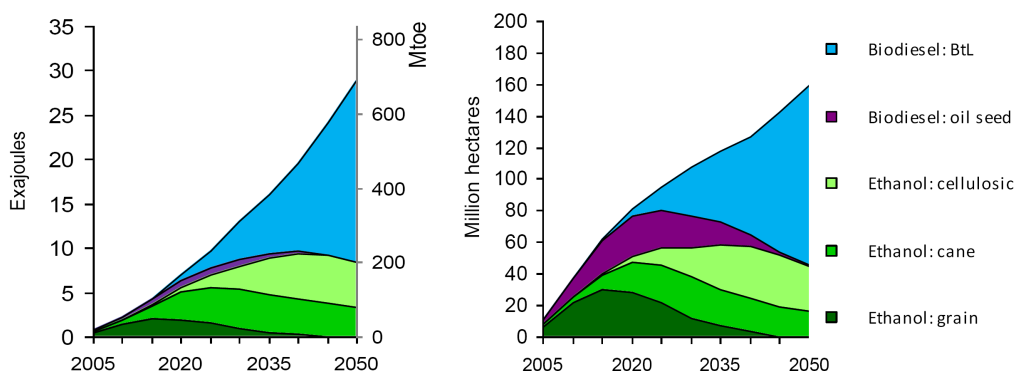


Fonte: IEA (2008)

**Figura 76 - Perfil da frota de veículos leves em 2050, em cenário de baixas emissões de GEE**

A respeito dos biocombustíveis, a posição da AIE é bastante cética em relação aos chamados biocombustíveis de primeira geração. Entre os que são produzidos no presente, apenas o etanol de cana de açúcar continuaria a ser importante alternativa comercial em 2050; desde 2040-2045 não haveria mais produção de etanol a partir de grãos (milho e trigo, por exemplo), e tampouco produção de biodiesel a partir de oleaginosas.

O resultado da AIE (IEA, 2008) deve-se aos altos custos de produção, aos altos custos de emissões evitadas, e à significativa demanda de terra. Os resultados do perfil de suprimento de biocombustíveis no período 2005-2050, e a demanda de terra associada, são apresentados na Figura 77.



**Source: IEA – Energy Technology Perspectives 2008.**

Fonte: IEA (2008)

**Figura 77 - Perfil da produção de biocombustíveis no período 2005-2050 em cenário de baixas emissões de GEE, e demanda de terra associada**

No cenário de baixas emissões da AIE (IEA, 2008), o consumo de biocombustíveis chegaria a aproximadamente 29 EJ em 2050, cobrindo cerca de 26% da demanda de energia no setor de transportes rodoviário naquele ano. O consumo de biodiesel seria preponderante – 20,5 EJ, contra 8,5 EJ de etanol. A demanda de terra é

estimada em cerca de 160 Mha, aproximadamente 10% da extensão empregada no presente para a produção de alimentos. A produção de etanol a partir da cana de açúcar em 2050 chegaria a aproximadamente 160 bilhões de litros.

#### 2.1.4.2 Contexto nacional

Como anteriormente explicado, neste relatório são sumarizadas as alternativas de mitigação apresentadas no estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010), tendo como horizonte o ano 2030.

Na Tabela 65 são apresentadas estimativas de emissões de GEE, em 2030, no Cenário Referência e no Cenário de Baixas Emissões de Carbono, nos principais setores da economia.

**Tabela 65 - Emissões estimadas de GEE (em MtCO<sub>2</sub>) em 2030 – Cenário Referência e Cenário de Baixas Emissões; participações percentuais (entre parênteses), e variação percentual no período**

Setor	2030 (Referência)	2030 (Baixo Carbono)	Variação (%)
Energia	458 (26,7)	297 (29,0)	-35
Transporte	245 (14,3)	174 (17,0)	-29
Resíduos	99 (5,8)	18 (1,8)	-82
Desmatamento	533 (31,0)	196 (19,2)	-63
Pecuária	272 (15,8)	249 (24,3)	-8
Agricultura	111 (6,5)	89 (8,7)	-20
Total	1718 (100)	1023 (100)	-40

Fonte: Gouvello (2010)

Para a redução das emissões de GEE no Brasil, a redução do desmatamento é a alternativa de maior impacto. Do total de redução de emissões de 695 MtCO<sub>2</sub>e em 2030, considerados os Cenários de Baixo Carbono e o Cenário Referência apresentados na Tabela 65, quase 50% das reduções de emissões seriam decorrentes de ações de redução do desmatamento. No estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010) são apresentadas considerações de como a redução do desmatamento poderia ser alcançada, o que inclui (i) a eliminação de suas causas estruturais (e.g., a demanda de áreas adicionais para pecuária e agricultura, através do aumento da produtividade e recuperação de pastagens degradadas), e (ii) a proteção da floresta, evitando-se as ações ilegais de derrubada (e.g., combate à exploração predatória de madeira e desenvolvimento de atividades econômicas baseadas na exploração sustentável).

No estudo também são exploradas alternativas para a redução das emissões diretas de GEE em atividades agrícolas e na pecuária. Fundamentalmente, a redução de 20% nas emissões de GEE na agricultura corresponde à generalização da prática do plantio direto, com benefícios devido ao menor impacto nos estoques de carbono no solo e no menor consumo de diesel em operações agrícolas.

No caso da pecuária, e principalmente quanto às emissões diretas na criação de gado de corte, as propostas incluem a intensificação da atividade e o melhoramento genético dos animais, que teriam ciclo de vida mais curto. Entretanto, em relação à redução das emissões totais a contribuição seria relativamente modesta (8%) porque a hipótese básica é que a pecuária ainda teria grande importância no país.

No que diz respeito ao Uso de Energia, o Cenário Baixo Carbono do estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010), considerou o aumento da eficiência de uso final de

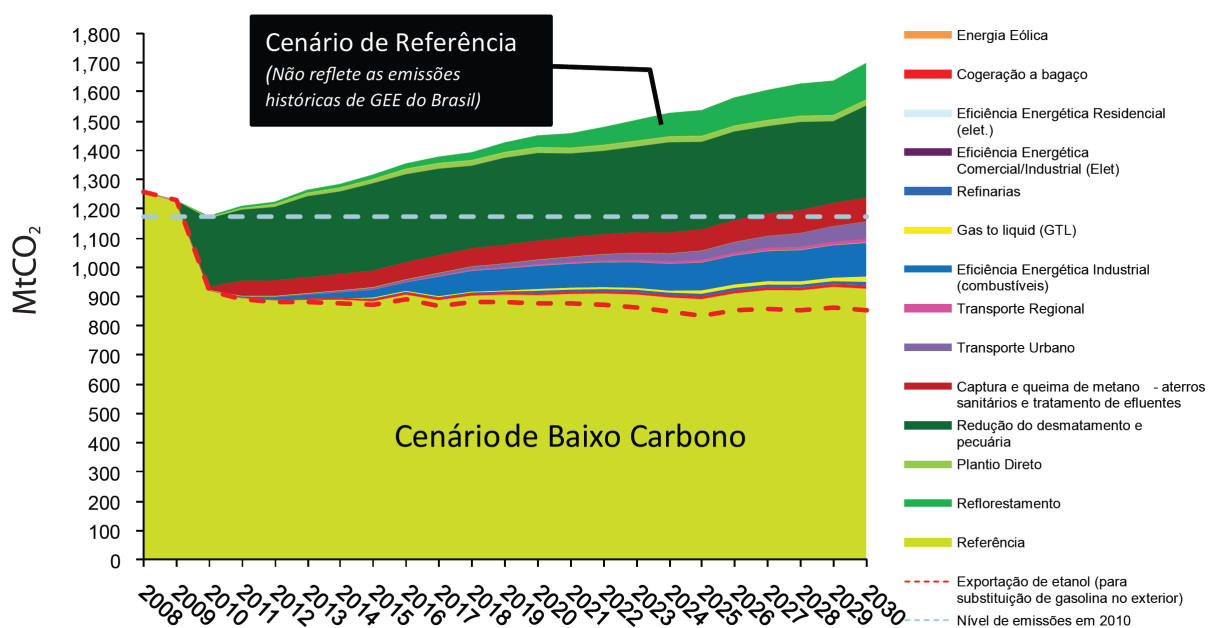
energia e em eletrodomésticos, substituição de combustíveis na indústria, produção de combustíveis a partir de gás natural (GtL), e geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana e geração eólica. A expansão adicional da capacidade de geração elétrica a partir da hidroeletricidade, em relação ao Cenário Referência, não foi considerada, pois entende-se que o potencial remanescente já estaria explorado, em 2030, no Cenário Referência. Também foram consideradas oportunidades de redução das emissões no exterior em duas situações: (i) hidro-complementariedade dos setores elétricos do Brasil e da Venezuela, e (ii) exportações de etanol combustível em larga escala.

Do total de redução de emissões de 695 MtCO<sub>2</sub>e em 2030, considerados os Cenários de Baixo Carbono e o Cenário Referência, pouco mais de 23% de redução das emissões ocorreriam no Uso de Energia. Um aspecto não surpreendente é que na indústria, que ainda está fortemente baseada em combustíveis fósseis, as reduções até 2030 seriam equivalentes a 75% do total, (68 MtCO<sub>2</sub> por ano), seguido do uso de carvão vegetal renovável na siderurgia e da cogeração a partir da biomassa residual da cana. Mesmo assim, haveria crescimento das emissões de GEE em relação a 2008 (ver Tabela 64 e Tabela 65).

No setor de transportes, cujas emissões de GEE também estão associadas ao uso de energia, a contribuição em relação à redução das emissões totais em 2030, quando da comparação dos dois cenários, seria de 10%. A contribuição do maior consumo de etanol, em substituição à gasolina, não seria muito significativa pois já no Cenário Referência o consumo de etanol em 2030 seria expressivo (63,5 bilhões de litros, contra 74,4 bilhões de litros no Cenário Baixo Carbono, também em 2030). Também no setor de transportes, em que pese o esforço de redução, as emissões em 2030 também seriam maiores do que as em 2008.

O estudo do Banco Mundial considerou o aumento das exportações de etanol produzido a partir da cana, no Brasil, de chegando o volume exportado a 70 bilhões de litros em 2030 (contra cerca de 13 bilhões de litros no mesmo ano, no Cenário de Referência do PNE. O acréscimo nas reduções de emissões alcançado através de exportações de etanol chegaria a 73 MtCO<sub>2</sub> por ano e corresponderia a 667 MtCO<sub>2</sub> durante o período de 2010 a 2030, ou aproximadamente um terço da redução total das emissões do setor de energia. A produção de etanol adicional, para exportação, exigiria um aumento da área cultivada com cana de açúcar de 6,4 milhões de hectares em 2030 (de 12,7 para 19,1 milhões de ha).

Na Figura 78 é apresentada a evolução estimada das emissões de GEE, no Brasil, entre 2008 e 2030, considerados os Cenário Referência e o Cenário Baixo Carbono. Computados ao Brasil os benefícios da redução das emissões de GEE devido ao uso de etanol no exterior, as emissões brasileiras em 2030 pouco menos de 30% menores do que as emissões estimadas em 2010.



Fonte: Gouvello (2010)

**Figura 78 - Estimativa das emissões de GEE no Brasil entre 2008 e 2030 – Cenário Referência e Cenário Baixo Carbono.**

## 2.1.5 Compromissos assumidos até a COP15

Em Dezembro de 2009 foi realizada em Copenhagem, Dinamarca, a 15ª Conferência das Partes (COP15) no contexto da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC). O principal objetivo dessa reunião era a definição dos termos para o Segundo Período de Compromisso do Protocolo de Quioto, entre 2012 e 2020.

Durante a COP 13, em Bali, Indonésia, o total de redução de emissões de GEE, o nível de concentração desses gases na atmosfera e o aumento da temperatura aceitável foram tema da discussão oficial. Naquela ocasião, a indicação do IPCC de redução das emissões entre 25 e 40% até 2020, em relação a 1990, foi aceita pela União Européia e pelos países em desenvolvimento, como parâmetro para a negociação, mas sob protestos dos EUA, Japão, Canadá e Rússia.

Na COP13, o Plano de Ação de Bali foi aprovado depois de muita resistência dos principais países, particularmente dos EUA. O Plano de Ação representou a formal aceitação por parte dos países em desenvolvimento de maiores compromissos de mitigação, uma vez que se dispuseram a prover ações de mitigação apropriadas nacionalmente, desenvolvidas no contexto do desenvolvimento sustentável, da tecnologia, financiamento e capacitação, de maneira *mensurável, reportável e verificável*.

Nos termos do "Plano de Ação de Bali", os países em desenvolvimento concordaram em tomar: "medidas de mitigação adequadas a cada país para as Partes países em desenvolvimento, no contexto do desenvolvimento sustentável, com o apoio tecnológico, financeiro e de capacitação adequados, de maneira que possam ser mensurados, relatados e verificados". Entretanto, os países em desenvolvimento, de acordo com o princípio de "Responsabilidade Comuns, Porém Diferenciadas",

não terão, até 2020, que assumir metas quantificáveis de redução das emissões de GEE.

No que toca aos países desenvolvidos, a concordância (mesmo que relutante) dos EUA em aceitar medidas de mitigação mensuráveis, reportáveis e verificáveis foi entendida como sinal de envolvimento direto do país nas negociações do regime pós-2012.

A meta definida em Bali foi a de alcançar um acordo formal sobre as principais questões na COP 15, mais isso não ocorreu em Copenhagem. O impasse foi mais caracterizado, por um lado, pela recusa dos EUA em assumirem compromissos mais ambiciosos de redução de emissões e, por outro lado, pela recusa da China em aceitar qualquer forma de monitoramento de suas ações (voluntárias) de redução das emissões de GEE.

Ao fim de duas semanas de negociações, na declaração final foram destacadas intenções dos países signatários (Partes) quanto à Adaptação, transferência de tecnologia, criação de fundos de financiamento, etc. Foi referendado o objetivo de longo prazo de estabilização das concentrações de GEE na atmosfera para que a elevação de temperatura média da Terra fique, no máximo, em 2°C. Também, há menção à necessidade de que as Partes Anexo I se comprometam a reduzir suas emissões até 2020, enquanto as Partes Não Anexo I devem implementar ações voluntárias para a redução das emissões de GEE.

A posição do Brasil na COP15 foi interpretada como agressiva. Pouco dias antes do início da COP15, no dia 1º de dezembro de 2008, foi lançado o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que determina uma redução de 70%. Após a COP15, no dia 29 de dezembro de 2009, o Congresso aprovou a Lei 12187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa, entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Tais metas chamaram a atenção na COP15, e foram consideradas ambiciosas.

Ocorre que as emissões projetadas em 2020 são calculadas a partir dos Inventários 1990-1994 e 2000-2004, este ainda não finalizado. Em um exercício simples, consideradas as emissões de GEE apresentadas na Tabela 61, chegar-se-ia em 2020 a emissões equivalentes a 3.200 MtCO<sub>2</sub>e, quase 46% maiores do que as estimadas em 2005. Consideradas as metas de redução – 36,1% a 38,9% -, as emissões de GEE chegariam a 1955-2045 MtCO<sub>2</sub>e, ou seja, muito próximas às aquelas estimadas para 2005. Dado que o desmatamento representou em 2005 quase 60% das emissões totais de GEE, o compromisso de redução do desmatamento em 70% em relação às médias históricas já seria suficiente para atender o compromisso divulgado na COP15, e que agora é lei.

Como o Brasil é um país Não-Anexo I, o compromisso assumido é ainda mais relevante. Mas, por outro lado, tendo em conta que a redução do desmatamento é uma necessidade para o Brasil, o compromisso de redução das emissões de GEE deve ser relativizado.

## **2.2 Perspectivas da matriz energética, participação do setor sucroalcooleiro em relação a emissões de GEE no Brasil<sup>32</sup>**

### **2.2.1 Introdução**

O texto aqui apresentado refere-se ao relatório final da OE2 do projeto Contribuição do Setor Sucroalcooleiro para a Matriz Energética e para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil. A OE2 tem como objetivo o Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil. A OE2 está sub dividida em oito objetivos ainda mais específicos; este é o relatório do tópico "Perspectivas da matriz energética, participação do setor sucroalcooleiro em relação a emissões de GEE no Brasil".

- Este texto está estruturado nas seguintes seções:
- Evolução da matriz energética nacional e perspectivas até 2030.
- Evolução da participação do setor sucro-alcooleiro e perspectivas até 2030.
- Cenário de Baixas Emissões de GEE em 2030, no Brasil, e contribuições do setor sucro-alcooleiro.

A análise da evolução da matriz energética brasileira é feita a partir dos dados do Balanço Energético Nacional. A análise das perspectivas até 2030, tanto da matriz como um todo quanto da participação do setor sucro-alcooleiro, tem por referência o PNE 2030 (EPE, 2007). Já o Cenário de Baixas Emissões em 2030, e as potenciais contribuições do setor sucro-alcooleiro, estão fundamentos em estudo recentemente divulgado pelo Banco Mundial (Gouvello, 2010).

### **2.2.2 Evolução da matriz energética nacional**

#### **2.2.2.1 Aspectos históricos**

Poucos países com razoável nível de industrialização, como o Brasil, têm matriz energética com tamanha importância das fontes renováveis de energia. Em 2008, quase 46% do suprimento de energia primária foi coberto por renováveis. A fração do suprimento de energia atendida pelas fontes renováveis tem aumentado continuamente a partir de 2001, quando foi inferior a 40%<sup>33</sup>. A parcela de energia hidráulica em 2008 foi 14,0% e, no mesmo ano, a biomassa cobriu 28,5% do suprimento de energia, sendo a parcela da cana de açúcar correspondente a 17% (etanol e bagaço são as formas de energia secundária). Na Figura 79 é mostrada a evolução do suprimento de energia no Brasil, no período 1970-2008, com destaque para as fontes renováveis de energia.

Durante pouco mais de três décadas o país reduziu de maneira considerável sua dependência internacional de petróleo e é, no presente, e na média, auto-suficiente. Por outro lado, o Brasil é fortemente dependente de carvão mineral de alta qualidade (carvão metalúrgico e coque), que é sobretudo utilizado na produção de ferro gusa e aço. Esta dependência foi parcialmente reduzida nos anos 1980, quando foram implementadas políticas para a

---

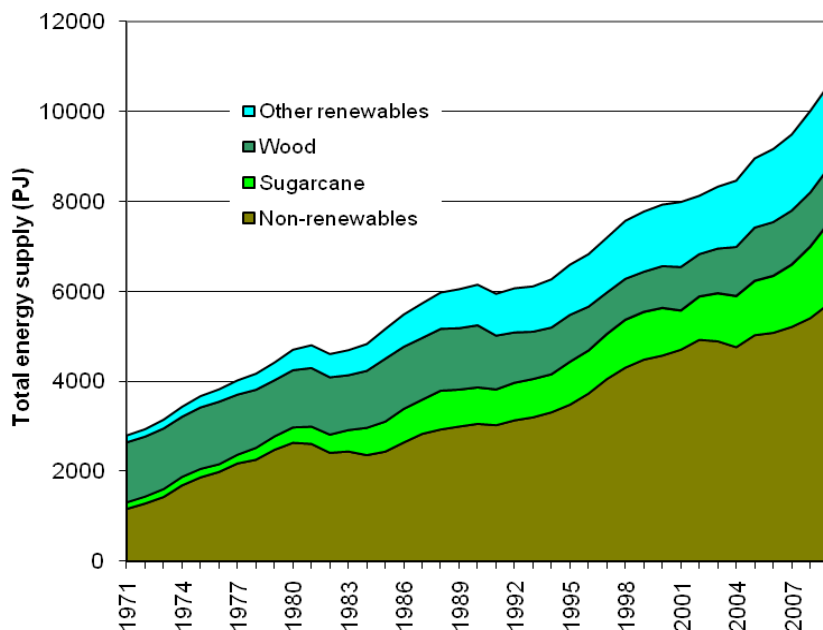
32 Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/NIPE/UNICAMP) e Sérgio Valdir Bajay (FEM/NIPE/UNICAMP)

33 O aumento da participação das fontes renováveis desde 2001 deveu-se principalmente aos derivados da cana de açúcar.



substituição de coque (de carvão mineral) por carvão vegetal<sup>34</sup>. Já a dependência de gás natural é um fato mais recente, e começou com as importações da Bolívia, nos anos 1990; quanto ao suprimento de gás, a política tem sido o aumento da produção nacional, mas os resultados ainda são modestos. Finalmente, a dependência no suprimento de eletricidade deve-se sobretudo às importações da geração da parte Paraguaia de Itaipu. Na Fonte: EPE/MME (2009)

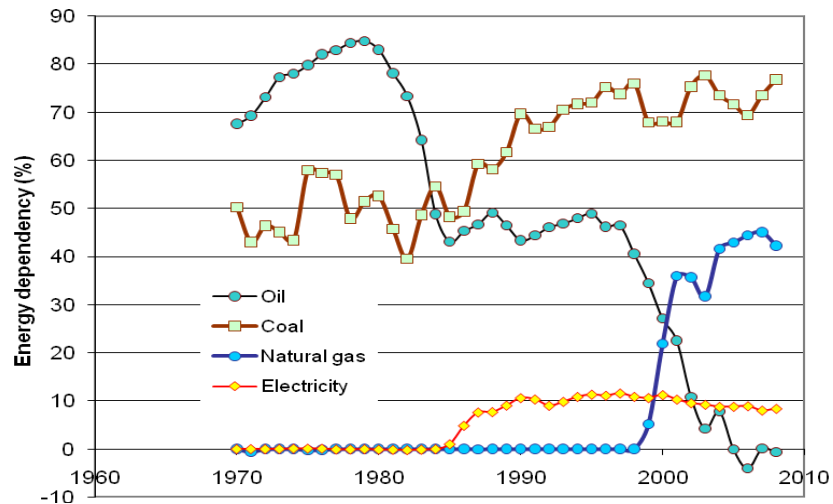
Figura 80 é mostrada a evolução da dependência externa de petróleo, carvão mineral, gás natural e eletricidade.



Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 79 - Evolução do suprimento total de energia no Brasil – 1970-2008**

34 Mas as importações de carvão mineral e coque voltaram a crescer quando os preços internacionais foram reduzidos.



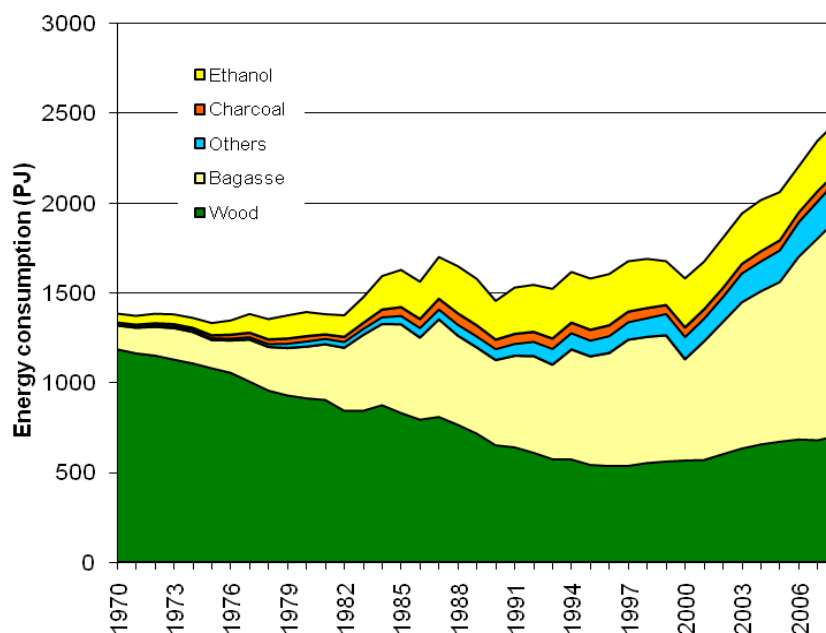
Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 80 - Evolução da dependência do suprimento de petróleo, carvão, gás natural e eletricidade - 1970-2008**

Detalhes da contribuição da biomassa no consumo final de energia no Brasil são apresentados na Fonte: EPE/MME (2009)

Figura 81. Pode-se notar a contínua redução do consumo de lenha até meados dos anos 1990, que foi influenciado pela redução de seu consumo não comercial em residências. Deve ser destacado que esse consumo é essencialmente baseado em estimativas. O consumo de bagaço de cana, que representa grande parcela do consumo total de biomassa, corresponde ao seu uso como combustível em usinas que produzem açúcar e/ou etanol; o porte do setor, e a baixa eficiência de uso da energia, explicam a grande parcela associada. Grande parte do consumo de lenha ainda ocorre no setor residencial (48%) e também no setor industrial (37%). O consumo de carvão vegetal ocorre sobretudo no setor industrial (90%), e mais especificamente na indústria metalúrgica. Na Fonte: EPE/MME (2009)

Figura 81, "outros" corresponde a diferentes resíduos agrícolas e industriais, incluindo o licor negro.

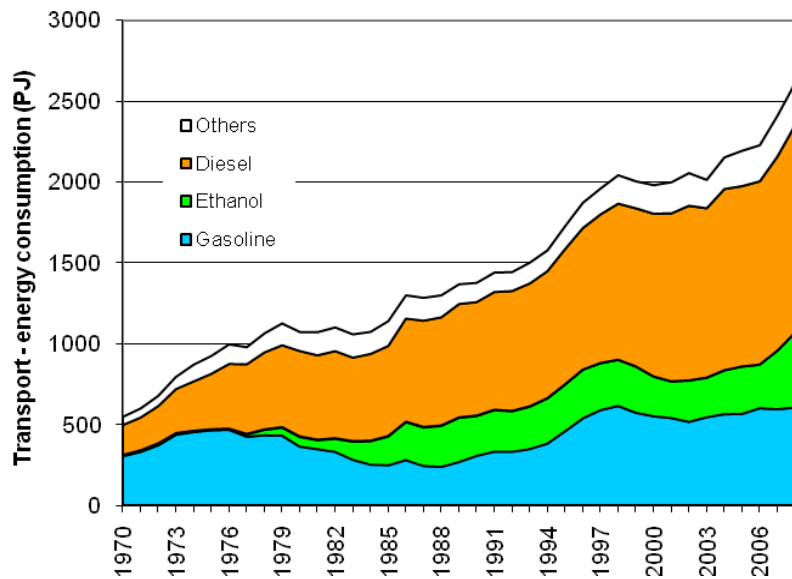


Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 81 - Consumo final de biomassa – 1970-2008**

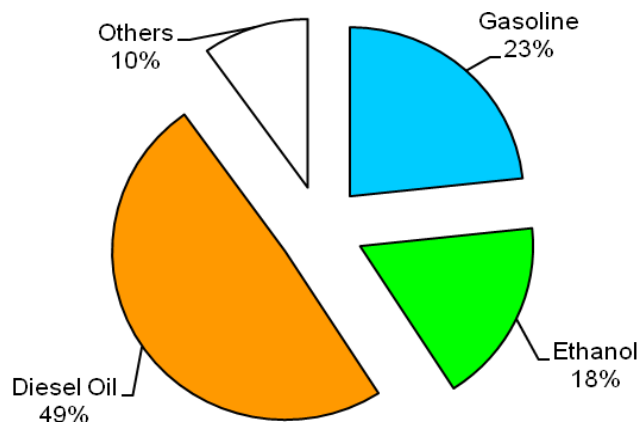
Para o setor de transportes, a evolução do consumo final de energia é mostrada na Figura 82. O crescimento do consumo de etanol (etanol anidro, que é misturado à gasolina automotiva, e etanol hidratado) tem sido significativo desde 1976. Em 2008, o consumo de etanol representou 18% do consumo energético no setor de transportes e 39,7% do consumo final dos veículos de ciclo Otto (43,1% do consumo de gasolina em base energética, e 53% em base volumétrica).

Na Figura 82, "Outros" corresponde principalmente ao querosene (consumida na aviação) e gás natural (consumido em motores ciclo Otto). A Figura 83 apresenta a distribuição do consumo de energia no setor de transportes em 2008.



Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 82 - Consumo de energia no setor de transportes – 1970-2008**



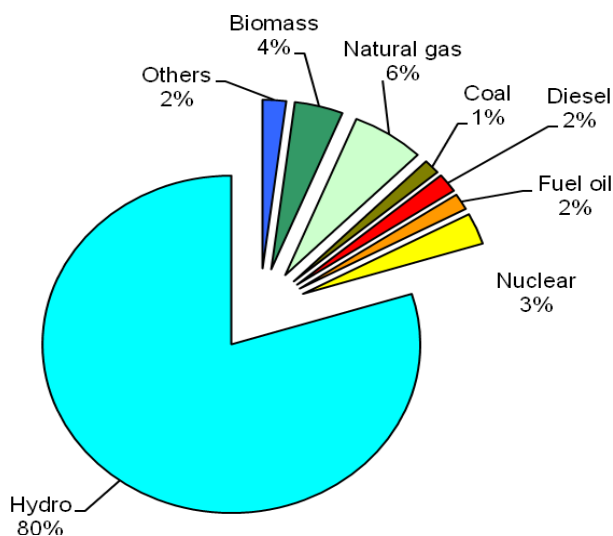
Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 83 - Perfil do consumo final de energia no setor transportes, em 2008**

No Brasil, por mais de cinco décadas a geração elétrica tem ocorrido majoritariamente em centrais hidrelétricas. Grande parte do potencial hidrelétrico ainda não foi aproveitado (cerca de 70%), mas este está sobretudo na Região Norte (112 GW de 261 GW). Será difícil aproveitar em grande medida este potencial, primeiro por causa dos potenciais impactos ambientais na região Amazônica e, segundo, porque o potencial está distante dos grandes centros de carga.

Na Figura 84 é mostrado o perfil da geração de eletricidade em 2008, quando 80% da geração ocorreu em hidrelétricas (o menor percentual desde 1970). Os resultados apresentados correspondem à produção no Brasil, sem que seja considerada a geração que ocorreu na parte Paraguaia de Itaipu.

Com relação a capacidade instalada de geração elétrica, em meados de 2009 a capacidade hídrica correspondia a 73% do total (excluída a parte Paraguaia de Itaipu). Somente 5% da capacidade instalada tem base na biomassa. Na Tabela 66 é apresentado o perfil da capacidade de geração em meados de 2009, e na Tabela 67 é apresentado o perfil da capacidade de geração elétrica a partir da biomassa, na mesma época. Pode-se ver que grande parte dessa capacidade são unidades de cogeração que operam com bagaço de cana e licor negro.



Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 84 - Perfil da geração elétrica em 2008**

**Tabela 66 - Perfil da capacidade instalada de geração elétrica em Junho de 2009**

	Capacidade (MW)	Parcela (%)	Número de plantas
Hidro – grande porte	74.701	70,1	159
Hidro – pequeno porte	2.817	2,6	343
Térmicas convencionais	26.679	25,0	1.245
Nuclear	2.007	1,9	2
Eólica	417	0,4	33
Solar	0	0,0	1
<b>Total</b>	<b>106.621</b>		<b>1.783</b>

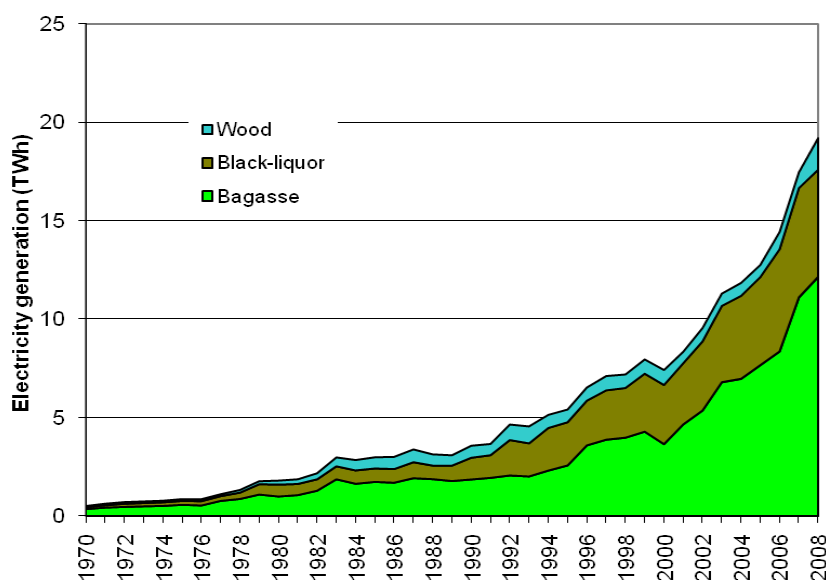
Fonte: ANEEL (2009)

**Tabela 67 - Perfil da capacidade instalada em termelétricas em Junho de 2009**

	Capacidade (MW)	Parcela (%)	Número de unidades
Resíduos da cana	3.957	72,7	270
Licor negro	1.146	21,1	14
Resíduos da madeira	240	4,4	29
Biogas	42	0,8	7
Casca de arroz	31	0,6	7
Carvão vegetal	25	0,5	3
<b>Total</b>	<b>5.441</b>		<b>330</b>

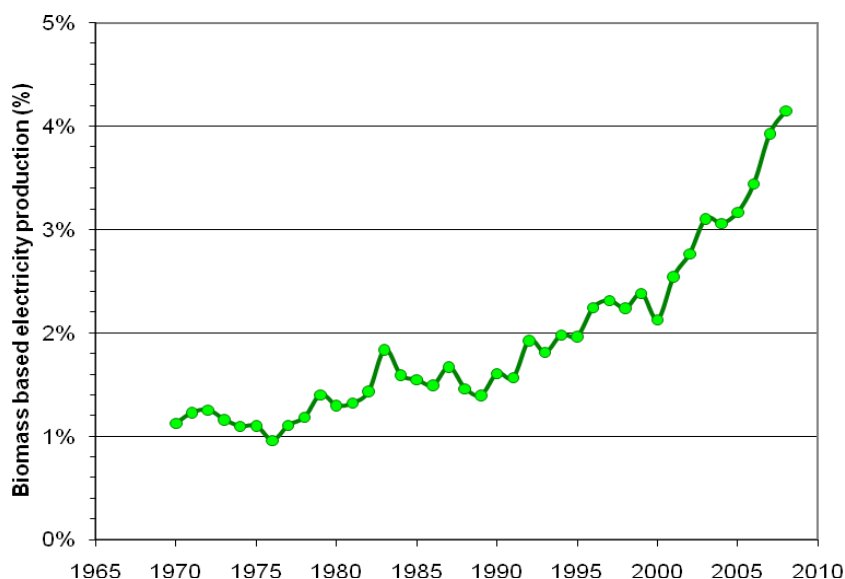
Fonte: ANEEL (2009)

Na Figura 85 é apresentada a evolução da geração elétrica a partir da biomassa em mais de três décadas. Nos últimos anos, cerca de 40% da eletricidade produzida a partir do bagaço tem sido comercializada, mas a maior parcela da eletricidade gerada a partir da biomassa é consumida nas próprias indústrias nas quais a geração ocorre. Na Figura 86 é mostrada a evolução da geração a partir da biomassa em relação à geração total.



Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 85 - Geração de eletricidade a partir da biomassa em 2008**



Fonte: EPE/MME (2009)

**Figura 86 - Geração de eletricidade a partir da biomassa sobre a geração total em 2008 (somente 50% da geração total de Itaipu foi considerada)**

### 2.2.3 Perspectivas até 2030

Esta parte do texto foi desenvolvida a partir da análise do Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030, que é o único documento oficial, até então disponível, no qual são apresentadas perspectivas de evolução da matriz energética brasileira.

No PNE 2030 são explorados quatro cenários, e neles as taxas anuais de crescimento do consumo final de energia variam de 2,2 a 4,2% ao ano no período 2010-2030. No cenário B1 – o segundo de maior crescimento -, o consumo final de energia praticamente dobraria no período, e no cenário A o consumo aumentaria 129%. Esses resultados já refletem resultados no aumento da eficiência no uso final da energia.

Uma das premissas do PNE 2030 é priorizar o uso de fontes renováveis de energia, e isso é refletido no setor de transportes pelo aumento das participações do etanol e do biodiesel. Na geração de eletricidade, também crescem as participações de fontes primárias renováveis como eólica e biomassa e é considerada, também, a geração a partir de resíduos sólidos urbanos.

Os resultados refletem a hipótese de aumento dos preços internacionais do petróleo, principalmente no cenário A, criando condições para viabilizar penetração das fontes energéticas renováveis. Contudo, a pressão de demanda, que se observa nos cenários de maior crescimento econômico, mascarara a substituição dos energéticos tradicionais por outros renováveis. Assim, o crescimento da demanda dos diversos energéticos nem sempre se diferencia muito entre os cenários.

Os aspectos gerais do PNE 2030 são os seguintes:

- Aumento da eletrificação;
- Maior penetração do gás natural, em substituição ao óleo combustível, principalmente na indústria;
- Maior penetração dos combustíveis líquidos renováveis (etanol e biodiesel) em substituição a derivados do petróleo;
- Crescimento do uso do carvão mineral, como reflexo, principalmente, da expansão do setor siderúrgico;
- Crescimento residual da lenha e do carvão vegetal, como evidência do virtual esgotamento do processo de substituição ocorrido no final do século passado e limitado aos usos cativos e controlados desses energéticos, respectivamente.

Na Tabela 68 é apresentado o perfil do consumo final de energia em 2030, em dois dos cenários apresentados no PNE 2030 (o A e o C, que são os extremos). O perfil do consumo por fonte em 2005 é apresentado como referência. São também apresentadas as taxas médias anuais de crescimento nos dois cenários.

Do ponto de vista da oferta interna de energia, resultados do PNE 2030 são apresentados na



Tabela 69. Embora a informação não seja claramente apresentada no PNE 2030, os valores são mais coerentes com o cenário A, embora algumas inconsistências possam ser notadas, e são aqui apresentados a título ilustrativo. De acordo com os resultados apresentados, as fontes de energia que teriam crescimento maior do que o total do consumo energético seriam urânio, gás natural, carvão mineral, cana e outras renováveis<sup>35</sup>.

**Tabela 68 - Perfil do consumo final de energia em 2005 e estimativas para 2030 (valores em milhares de tep) (cenários A e C do PNE 2030)**

	2005	2030	%	2030	%
Total	165.044	474.014	4,3	309.283	2.5
Petróleo	66.875	166.318	3,7	113.131	2.1
Eletricidade	31.103	106.947	5,1	72.832	3.5
Cana	20.046	69.105	5,1	38.509	2.6
Gás natural	9.411	40.069	6,0	24.352	3.9
Carvão	9.938	35.297	5,2	23.695	3.5
Lenha e CV	22.367	27.094	0,8	24.380	0.3
Biodiesel		10.764	8,4	2.993	4.3
Outros	5.304	18.420	5,1	9,391	2.3

Fonte: EPE (2008)

35 As duas primeiras por causa da maior geração de eletricidade com essas fontes, e o gás natural pelo maior consumo na geração de eletricidade e na indústria. Entre outras renováveis estão as matérias prima para produção de biodiesel.

**Tabela 69 - Estrutura da oferta interna de energia em 2005 e 2030 (valores em milhares de tep), e taxas percentuais de crescimento médio no período.**

Fonte	2005	2030	Taxas anuais (%)
Total	218.663	555.833	3,8
Não renovável	121.350	307.326	3,8
Petróleo	84.553	165.447	2,7
Gás natural	20.526	86.531	5,9
Carvão	13.721	38.404	4,2
Urânio	2.549	16.944	7,9
Renovável	97.314	248.507	3,8
Hidráulica	32.379	75.067	3,4
Lenha e CV	28.468	30.693	0,3
Cana	30.147	107.726	5,2
Outras	6.320	41.021	7,8

Fonte: EPE (2008)

Ainda a respeito dos resultados apresentados na

Tabela 69, a participação das fontes renováveis na matriz energética em 2030 seria 44,7%, mantendo a parcela verificada nos últimos anos. Já a participação da cana e seus derivados na oferta interna de energia em 2030 seria 19,4%, ou seja, não muito maior do que o valor verificado em 2008.

A produção de etanol combustível em 2030 chegaria a 66,6 bilhões de litros, contra 16 bilhões produzidos em 2005 (aumento de 5,9% ao ano, em média), sendo que 53,3 bilhões de litros seriam consumidos no mercado doméstico em 2030 (contra 13,3 bilhões consumidos em 2005; aumento de 5,7% ao ano) e 11,5 bilhões de litros seriam exportados<sup>36</sup>.

O consumo de gasolina projetado para 2030 é de 42,2 bilhões de litros, o que faria com que a parcela do etanol no consumo de combustíveis para motores de ciclo Otto seja pouco superior ao que foi observado em 2008 (55,8% em relação à soma etanol + gasolina, base volumétrica, contra 53% em 2008).

Com relação ao biodiesel, no PNE 2030 foi considerado que o consumo de biodiesel pode ser equivalente ao de misturas B12 em 2030, o que faria com que a produção naquele ano tivesse de chegar a 11,7 bilhões de litros.

No PNE 2030, o consumo total de energia elétrica, em 2030, foi estimado em 1.085,7 TWh (cenário B1), o que equivale a um crescimento médio de 4,3% ao ano desde 2005. A produção no mesmo ano foi estimada como 1.153,6 TWh.

Na Tabela 70 são apresentados alguns resultados do PNE 2030 no que diz respeito à geração de eletricidade. O resultado do acréscimo de potência instalada, requerido no período, indica que a geração hidrelétrica seria a prioridade (73% do acréscimo da potência), seguida do gás natural. A hipótese explorada no PNE 2030 é de maior diversificação da matriz de geração. Também deve ser destacado que o acréscimo da capacidade instalada seria relativamente modesto, pois essa aumentaria pouco mais de três vezes no período (3,3), enquanto a produção de cana aumentaria 2,6 vezes; deve ser lembrado que no momento o potencial é pouco explorado.

**Tabela 70 - Acréscimo requerido da capacidade instalada entre 2005 e 2030 (em MW), e geração elétrica em 2005 e estimada em 2030 (em TWh)**

Fonte	Acréscimo da capacidade	Geração 2005	Geração 2030
Hidrelétricas	95.469	325,1	817,6
Gás natural	12.300	13,9	92,1
Nuclear	5.345	9,9	51,6
Carvão mineral	4.600	6,1	31,4
Biomassa da cana	6.515	7,7	33,5
Eólicas	4.653		10,3
Outras	1.231	40,2	117,1
Total	130.113	402,9	1.153,6

Fonte: EPE (2008)

36 No PNE 2030 foi considerado um limite de produção e, em função do significativo aumento do consumo doméstico no período 2020-2030 (32,4 para 53,3 bilhões de litros), as exportações seriam reduzidas no período de 14,2 para 11,5 bilhões de litros.

## **Cenário de Baixas Emissões de GEE em 2030, no Brasil, e contribuições do setor sucro-alcooleiro**

É apresentada a seguir a transcrição parcial do texto “Panorama das emissões de GEE no Brasil e no mundo; e perspectivas mundiais, programas e metas de redução das emissões de GEE”, no que diz respeito a um Cenário de Baixas Emissões de GEE e a contribuição potencial do setor sucro-alcooleiro. Nesse caso, o foco está na evolução da produção e do consumo de etanol e na evolução da geração de eletricidade a partir de resíduos da cana.

A referência para análise das perspectivas de evolução das emissões de GEE no Brasil, até 2030, é o PNE 2030 (EPE, 2008). Entretanto, deve ser destacado que a evolução do setor energético no Brasil, nos últimos anos, tem sido significativamente diferente da que é apresentada naquele estudo. O Cenário B1 do PNE 2030 foi adotado como Cenário Referência, e nele as hipóteses de crescimento econômico são intermediárias entre os cenários mais pessimista e mais otimista.

Já para a análise das alternativas de mitigação do conjunto das emissões de GEE, a referência é o Cenário de Baixas Emissões de GEE apresentado no estudo coordenado pelo Banco Mundial, divulgado em Junho de 2010, e que considera vários setores da economia (Gouvello, 2010). No estudo do Banco Mundial, o PNE 2030 foi considerado na definição do Cenário Referência quanto ao uso da energia.

O PNE 2030 reflete a prioridade de diversificação da matriz de geração elétrica, embora o foco ainda seja o aproveitamento em larga escala do potencial remanescente de geração hidroelétrica. No setor de transportes, a substituição da gasolina automotiva por etanol reflete a tendência atual, enquanto o biodiesel substituiria 12% do consumo de óleo diesel projetado em 2030.

Embora o PNE 2030 apresente resultados em que as fontes renováveis continuam a ter participação importante na matriz energética brasileira, as emissões de GEE devido ao Uso de Energia praticamente dobrariam no período 2008-2030, superando 800 MtCO<sub>2</sub> quando da soma das emissões do setor Energia com as do setor Transportes.

De acordo com os resultados do PNE 2030, maiores taxas de crescimento de emissões de GEE ocorreriam na geração de eletricidade, por conta do maior número de térmicas que seriam construídas e operariam mais regularmente. Mesmo assim, os fatores de emissão na geração de eletricidade continuariam muito baixos, passando de 0,094 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2010 para 0,069 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2020 e 0,079 tCO<sub>2</sub>e/MWh em 2030.

Neste relatório são sumarizadas as alternativas de mitigação apresentadas no estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010), tendo como horizonte o ano 2030. No que diz respeito ao Uso de Energia, o Cenário Baixo Carbono do estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010) considerou o aumento da eficiência de uso final de energia e em eletrodomésticos, substituição de combustíveis na indústria, produção de combustíveis a partir de gás natural (GtL), e geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana e geração eólica. Também foram consideradas oportunidades de redução das emissões no exterior em duas situações: (i) hidro-complementariedade dos setores elétricos do Brasil e da Venezuela, e (ii) exportações de etanol combustível em larga escala.

Do total de redução de emissões de 695 MtCO<sub>2</sub>e em 2030, considerados os Cenários de Baixo Carbono e o Cenário Referência, pouco mais de 23% de redução das emissões ocorreriam no Uso de Energia.

No setor de transportes, cujas emissões de GEE também estão associadas ao uso de energia, a contribuição em relação à redução das emissões totais em 2030, quando da comparação dos dois cenários, seria de 10%. A contribuição do maior consumo de etanol, em substituição à gasolina, não seria muito significativa, pois já no Cenário Referência o consumo de etanol em 2030 seria expressivo (63,5 bilhões de litros, contra 74,4 bilhões de litros no Cenário Baixo Carbono, também em 2030). Também no setor de transportes, em que pese o esforço de redução, as emissões em 2030 também seriam maiores do que as em 2008.

O estudo do Banco Mundial considerou o aumento das exportações de etanol produzido a partir da cana, no Brasil, chegando o volume exportado a 70 bilhões de litros em 2030 (contra cerca de 13 bilhões de litros no mesmo ano, no Cenário de Referência do PNE. O acréscimo nas reduções de emissões alcançado através de exportações de etanol chegaria a 73 MtCO<sub>2</sub> por ano e corresponderia a 667 MtCO<sub>2</sub> durante o período de 2010 a 2030, ou aproximadamente um terço da redução total das emissões do setor de energia.

Também foi considerado o aumento da geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana, que chegaria a 200,8 TWh em 2030, ou seja, 17,4% da geração elétrica estimada para aquele ano. Do ponto de vista das emissões de GEE, a contribuição do aumento de pouco mais de quatro vezes na geração a partir da biomassa residual da cana seria de 11,9 MtCO<sub>2</sub> em 2030, e 157,9 MtCO<sub>2</sub> acumuladas no período 2010-2030.

## **2.3 Perspectivas de redução de emissões na produção de etanol e bioeletricidade: etapas agrícola e industrial<sup>37</sup>**

### **2.3.1 Introdução**

O texto aqui apresentado refere-se ao relatório final da OE2 do projeto Contribuição do Setor Sucroalcooleiro para a Matriz Energética e para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil. A OE2 tem como objetivo o Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil. A OE2 está sub dividida em oito objetivos ainda mais específicos, que correspondem aos seus tópicos; este é o relatório do tópico "Perspectivas de redução de emissões na produção de etanol e bioeletricidade: etapas agrícola e industrial".

Este texto está estruturado em duas seções. A primeira trata das perspectivas de redução das emissões de GEE na produção de etanol, enquanto a segunda trata das perspectivas na geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana de açúcar.

### **2.3.2 Perspectivas de redução na produção de etanol**

As perspectivas de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa na produção de etanol foram analisadas a partir de informações disponíveis em estudos específicos (Macedo et al., 2008; Seabra, 2008), que têm o médio prazo (2020) como horizonte. Em aproximadamente 15 anos, tendo por base o status em meados da presente década, as emissões no ciclo de vida do etanol hidratado poderiam ser reduzidas de 417 para 330 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> de etanol, enquanto no ciclo de vida do etanol anidro a redução foi estimada de 436 para 345 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> (i.e., pouco superiores a 20% nos dois casos). Esses valores são apresentados por Macedo et al. (2008); no caso dos valores iniciais, de referência, esses dizem respeito à safra 2005/2006 e refletem as condições de produção de cana e de etanol na região Centro-Sul do Brasil, para uma amostra muito representativa da produção de cana naquela safra (cerca de 25%). Os autores desenvolveram balanços de energia e de emissões de GEE, trabalharam com parâmetros médios, e fizeram análises de sensibilidade considerada a faixa de variação dos parâmetros.

Nas avaliações acima apresentadas não são consideradas as emissões devido à mudança do uso da terra e tampouco as emissões decorrentes do transporte de etanol da unidade produtora até os postos de combustíveis. O efeito da mudança do uso da terra sobre as emissões de GEE tanto pode ser positivo quanto negativo, mas no caso da mudança dos modais de transporte, com uso mais intenso do transporte ferroviário, ou dutoviário, em relação ao transporte por caminhões, o impacto certamente seria positivo (i.e., redução das emissões no ciclo de vida do etanol e aumento das emissões evitadas em relação à gasolina).

No estudo em que os autores desta parte do relatório fizeram para o Banco Mundial (Gouvello, 2010), analisando alternativas de mitigação das emissões de GEE, no Brasil, os resultados de Macedo et al. (2008) foram assumidos como a mais importante referência. A esses resultados foram acrescentados alguns resultados

---

<sup>37</sup> Pesquisadores responsáveis: Paulo S. Graziano Magalhães (FEAGRI/UNICAMP), Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

apresentados por Seabra (2008), particularmente no que diz respeito às emissões de GEE devido ao transporte de etanol por caminhões desde as unidades produtoras até os postos de abastecimento. Isso faria com que as emissões no ciclo de vida completo do etanol hidratado chegassem a 490 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> na safra 2005/2006, e a 403 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> em 2020, supondo que não haveria alterações nas emissões devido ao transporte. No caso do ciclo de vida do etanol anidro, as emissões de GEE chegariam a 514 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> na safra 2005/2006, e a 422 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> em 2020, tampouco supondo alterações no transporte de etanol.

Ainda no estudo feito para o Banco Mundial, por simplificação, e principalmente por não haver estudos que explorem as perspectivas de redução das emissões em um horizonte mais longo, foi feita uma extrapolação até 2030 dos números acima. Como resultado, foi estimado que as emissões de GEE no ciclo de vida do etanol hidratado chegariam a 345 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> em 2030, e as do etanol anidro chegariam a 415 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> no mesmo ano. Para esses valores é que foram calculadas as reduções de emissões em relação à gasolina, como será descrito mais a frente.

Na avaliação feita por Macedo et al. (2008), quase totalidade das emissões reduzidas seriam decorrentes da não queima da cana antes da colheita. Haveria, em contrapartida, em função do aumento da mecanização, maior consumo de diesel, e aumento de suas emissões. Essa tendência poderia ser anulada, no futuro, com o emprego de etanol aditivado nos motores de ignição por compressão das colheitadeiras e dos caminhões, hipótese que foi explorada neste relatório em outra seção, mas que não é refletida na análise feita nesta seção. Essa tendência de aumento das emissões também poderia ser ao menos parcialmente compensada com a redução do número de operações agrícolas, por exemplo, em função da adoção de práticas de plantio direto.

No estudo de Macedo et al. (2008) também são consideradas menores emissões do solo, em função da alteração das práticas agrícolas. Tal aspecto é importante, e é de se imaginar que melhores resultados possam ser obtidos em relação aqueles apresentados pelos autores. Práticas de plantio direto, acima mencionadas, e que até o momento são inexistentes na agricultura canavieira, poderiam trazer resultados positivos, e significativos. Também é de se imaginar que a disposição de palha no canavial, devido à colheita mecanizada, deve trazer resultados positivos em função do aumento do estoque de carbono no solo (ou, ao menos, a menor redução do estoque ao longo do tempo).

De qualquer forma, no presente não há condições de se estimar precisamente quais resultados poderão ser alcançados em função dessas alterações no processo produtivo. Isso tem sido objetivo de pesquisa, e são necessários alguns anos para que estimativas mais precisas possam estar disponíveis.

No estudo feito para o Banco Mundial (Gouvello, 2010), considerados os fatores de emissão no ciclo de vida do etanol, acima descritos, o fator de emissão para o ciclo de vida da gasolina igual a 2635 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup>, que é valor médio internacionalmente aceito, e razão de substituição 1 litro de etanol hidratado = 0,75 litro de E25, as emissões evitadas foram calculadas como 1052 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> de etanol consumido em 2010, e que cresceriam linearmente até atingirem 1168 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> em 2030.

Para a evolução considerada do consumo doméstico de etanol, que chegaria a 70 bilhões de litros em 2030, as emissões evitadas acumuladas no período 2010-2030 foram calculadas em 105 MtCO<sub>2eq</sub>. Supondo que não houvesse redução dos fatores

de emissão no ciclo de vida do etanol, as emissões evitadas no período seriam apenas 8,7 MtCO<sub>2eq</sub>, ou seja, apenas 8,4% menores no período.

### **2.3.3 Perspectivas de redução na produção de eletricidade**

No caso da produção de eletricidade, a hipótese básica na análise feita é que as emissões da atividade canavieira são todas elas imputadas ao etanol, e não ao bagaço e à palha, que são utilizados como combustível nos sistemas de cogeração. Assim, as emissões da geração de eletricidade com uso da biomassa residual da cana continuariam nulas. Essa hipótese é clássica e, em princípio, só caberia a discussão de procedimentos alternativos de alocação caso a produção de eletricidade, e sua comercialização, assumissem importância compatível à produção de açúcar e de etanol.

Dessa forma, as possíveis reduções das emissões de GEE estão associadas à evolução da geração de eletricidade e dos fatores de emissão de GEE estimados para o setor elétrico. Para efeito de inventários, entende-se que os fatores de emissão que devem ser empregados são aqueles calculados levando-se em consideração todas as usinas que geram eletricidade em um dado período. Como sabido, no Brasil esses fatores são baixos em relação aos de outros países, em função do perfil do parque gerador do sistema elétrico nacional.

Dados disponibilizados pelo MCT (2010), em sua página eletrônica, mostram que os fatores de emissão médios de 2006 a 2009 variaram entre 24,6 kg CO<sub>2</sub>/MWh (em 2009) e 48,4 kg CO<sub>2</sub>/MWh (em 2008). O máximo valor observado em mais de 50 meses foi 66,8 kg CO<sub>2</sub>/MWh, em Fevereiro de 2008.

O estudo aqui utilizado como referência de expansão do setor elétrico brasileiro até 2030 (o PNE 2030) considera fatores de emissão em 2010 que jamais foram observados nos últimos anos (94 kg CO<sub>2</sub>/MWh); no estudo, há uma tendência de redução (até 79 kg CO<sub>2</sub>/MWh, em 2030) em função do plano de expansão muito focado na geração hidrelétrica de grande porte.

Dessa forma, do ponto de vista das emissões de GEE, o efeito positivo da geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana viria exclusivamente do significativo aumento da geração. O cenário alternativo considerado é de que a geração elétrica a partir do bagaço e da palha poderia ser até quatro vezes maior na comparação dos dois cenários considerados (200,8 TWh em 2030 em um cenário de menores emissões de GEE, contra 49 TWh no mesmo ano, no cenário referência).

Embora no estudo que trata do cenário de baixas emissões de GEE (Gouvello, 2010) tenha sido considerado o emprego da tecnologia BIG-CC (gaseificação de biomassa integrada a ciclos combinados), que ainda está distante de ser comercial, a geração potencial acima mencionada não seria sensivelmente impactada caso a tecnologia em questão não seja comercial no horizonte considerado ou, ainda, que a mesma seja inviável economicamente (apenas 15% da geração estimada em 2030 ocorreriam em sistemas BIG-CC). Portanto, o potencial estimado seria viabilizado em grande parte com tecnologias já comerciais, e que inclusive são disponíveis no Brasil (i.e., ciclos de potência a vapor).

O que poderia dificultar a geração de 200 TWh/ano a partir da biomassa residual da cana são outros fatores. Primeiro, os altos custos de interligação dos sistemas com



a rede elétrica, o que reduziria a atratividade dessa alternativa em relação às demais para a expansão do sistema elétrico.

Um segundo aspecto a considerar é que o potencial depende em grande medida da disponibilidade da palha da cana para ser usada como combustível nas usinas. Assim, a recuperação e o transporte da palha são desafios que precisam ser vencidos nos próximos anos. Mas, ainda em relação à palha, não é certo que será possível queimá-la nas mesmas condições em que o bagaço é queimado no presente, por causa de suas propriedades (i.e., maior teor de cinzas, e percentual significativo de álcalis nas mesmas). Esse é um desafio tão grande quanto o anterior e, se não for vencido, não só o potencial de geração de eletricidade em larga escala estará prejudicado, mas também o de produção de etanol por hidrólise do bagaço.

Um terceiro fator restritivo que precisa ser considerado é a eventual dificuldade de captação de água para a condensação do vapor, no caso de sistemas de maior porte com turbinas de extração e condensação. Essa restrição foi considerada no estudo prospectivo da EPE (o PNE 2030).

Mesmo com os baixos fatores de emissão de GEE no setor elétrico brasileiro, as emissões evitadas devido ao aumento da geração de eletricidade com biomassa residual da cana, acumuladas no período 2010-2030, chegariam a 157,9 MtCO<sub>2eq</sub>. Hipoteticamente, supondo que o fator de emissões deslocadas fosse 360 kg CO<sub>2</sub>/MWh, que é típico de uma central de ciclo combinado, de bom rendimento, e que queima gás natural, o total das emissões evitadas no período 2010-2030 chegaria a 763,4 MtCO<sub>2eq</sub>, ou seja, seria 4,8 vezes maior do que o estimado no estudo do Banco Mundial (Gouvello, 2010).

## **2.4 Perspectivas de redução de emissões no transporte (cana e etanol) e uso final do etanol<sup>38</sup>**

### **2.4.1 Introdução**

O texto aqui apresentado refere-se ao relatório final da OE2 do projeto Contribuição do Setor Sucroalcooleiro para a Matriz Energética e para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil. A OE2 tem como objetivo o Mapeamento da Evolução da Contribuição do Setor Sucro-alcooleiro para Redução de Emissões de GEE no Brasil. A OE2 está sub dividida em oito objetivos ainda mais específicos, que correspondem aos seus tópicos; este é o relatório do tópico "Perspectivas de redução de emissões no transporte (cana e etanol) e uso final do etanol".

No caso do transporte de cana e de etanol, a análise se limitou à consideração do uso de etanol aditivado em substituição ao diesel, em motores especialmente desenvolvidos para esse propósito. Esses motores já são utilizados há alguns anos na Suécia, em ônibus urbanos, e já foram testados no Brasil. O fabricante dos motores lançou modelos de caminhões com tal opção. A alternativa foi tratada em uma dissertação de mestrado, finalizada em Julho de 2009. No caso do transporte de cana, também caberia analisar alterações da logística. O que não foi feito. Já especificamente no caso do transporte de etanol, as melhores alternativas são a

---

<sup>38</sup> Pesquisador responsável: Arnaldo Cesar da Silva Walter (FEM/UNICAMP).

substituição de modais, do transporte por caminhões pelo transporte ferroviário ou dutoviário, mas tais casos tampouco foram considerados.

No que diz respeito às emissões de GEE no uso final do etanol, o caso explorado é a do aumento da eficiência do uso do etanol em motores flex, e consequente aumento das emissões evitadas em relação à gasolina. Outro tema tratado é a redução das emissões de poluentes regulados (monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, e hidrocarbonetos) em veículos flex, sobretudo quando do uso exclusivo de etanol.

#### **2.4.2 Perspectivas de redução das emissões no transporte<sup>39</sup>**

O uso de diesel representa, em média, 63% do consumo energético e 31% das emissões totais de GEE da cadeia produtiva do etanol derivado da cana de açúcar produzido e usado no Brasil – desconsiderando os créditos da eletricidade excedente na cadeia produtiva<sup>40</sup>.

A empresa Sueca Scania trabalha há alguns anos no desenvolvimento de motores ciclo diesel para que os mesmos possam operar com etanol aditivado. Esses motores têm sido utilizados regularmente em ônibus, principalmente na Suécia<sup>41</sup>, e em 2009 a empresa lançou um modelo de caminhão com o mesmo motor. Do ponto de vista das emissões de GEE, essa tecnologia é uma alternativa para melhorar os resultados da cadeia de produção e consumo do etanol brasileiro. A análise de viabilidade econômica da medida de substituição não é aqui analisada.

O motor diesel para uso de etanol aditivado é opção comercial e está tecnicamente comprovada sua durabilidade (Moreira et al., 2008). Para caminhões, a Scania tem testado com êxito o mesmo motor, e foi a sua terceira geração que foi empregada no primeiro modelo lançado no mercado (Bergqvist, 2009). Os primeiros motores tinham taxa de compressão 22:1 e os de terceira geração têm taxa 28:1; em um motor diesel convencional do fabricante, para o mesmo uso, a taxa é 18:1. Os motores têm 9 litros de cilindrada e a potência máxima dos motores de terceira geração é 270 HP (era 230 HP) e o torque máximo é 1200 Nm (era 1050 Nm). Houve adaptação dos sistemas de injeção de combustível (Moreira et al., 2008; Bergqvist, 2009).

O combustível é uma mistura etanol anidro (95%, base volumétrica) e 5% de um “beneficiador de ignição”, que é derivado de glicol polietileno. O aditivo é patenteado pela empresa Sueca SEKAB. A eficiência térmica do motor operando com etanol aditivado é comparável a do motor a diesel convencional (43% para o etanol e 44% para o diesel) (Bergqvist, 2009).

---

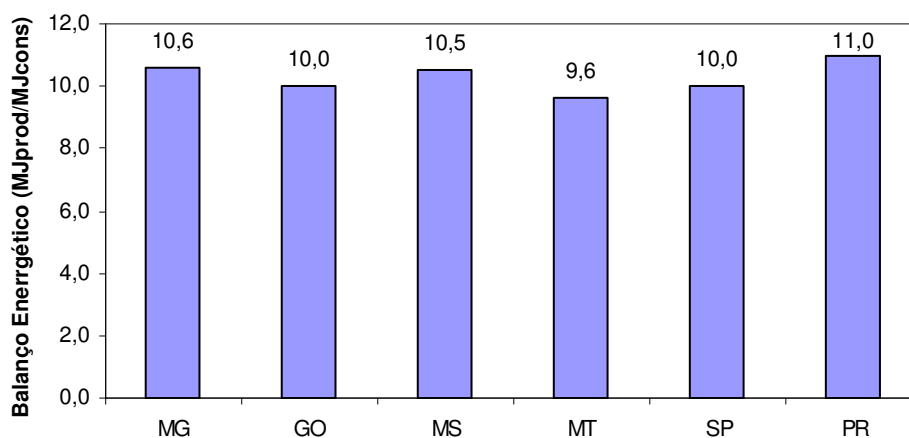
<sup>39</sup> Texto baseado em Silva, CRU. 2009. Balanço de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro. Dissertação de mestrado defendida na FEM-Unicamp em Julho de 2009.

<sup>40</sup> Na dissertação a avaliação foi feita considerando-se o uso de B3, e não de diesel mineral. O biodiesel produzido a partir do óleo de soja foi considerado, e dados do balanço de energia e de emissões do biodiesel de soja foram tomados da literatura.

<sup>41</sup> Ônibus urbanos com tal motor foram testados na Europa, na Ásia e em São Paulo, no contexto do projeto BEST (BioEthanol for Sustainable Transport). O projeto é uma iniciativa da União Européia e é coordenado pela prefeitura de Estocolmo (Suécia). No Brasil, o projeto começou em 2007, e um ônibus foi testado na cidade de São Paulo.

As etapas de transporte de cana e de distribuição do etanol (por caminhões diesel), produzido e usado no Brasil, representam, em média, 39% do consumo total de energia no ciclo de vida do etanol. Para analisar o impacto do uso do etanol em substituição ao diesel nessas etapas, foi considerado o consumo de energia no ciclo de vida do diesel – 0,2347 MJ/MJ (Cheminfo, 2008). Também foi considerado o consumo energético no ciclo de vida do etanol derivado da cana quando o etanol é utilizado na etapa de transporte da cana até a usina, mas não na etapa de distribuição, já que o caminhão seria abastecido na própria usina. A razão entre o consumo de energia na cadeia produtiva do etanol e o consumo de energia na cadeia produtiva do diesel foi utilizado para avaliar a substituição do diesel por etanol nas etapas de transporte e distribuição.

No trabalho de referência (Silva, 2009) foi considerada a produção em diferentes estados do país; foram consideradas diferentes figuras de produtividade e diferentes distâncias a serem vencidas, principalmente quando da exportação de etanol. Com a substituição de diesel por etanol aditivado, o consumo energético nas etapas de transporte de cana e de distribuição do etanol passa a representar 14% do consumo total de energia no ciclo de vida, ou seja, em termos relativos é reduzido quase à metade. Em consequência, as razões energia do produto/energia fóssil consumida superariam o valor 10 em quase todos os casos considerados, e poderiam chegar a 11. Na Figura 87 são apresentados resultados da razão energética produto/consumo, que é um indicador de eficiência energética na produção de biocombustíveis. Os resultados são afetados pelos valores de produtividade e pelo consumo de diesel (não substituído) na colheita mecanizada.

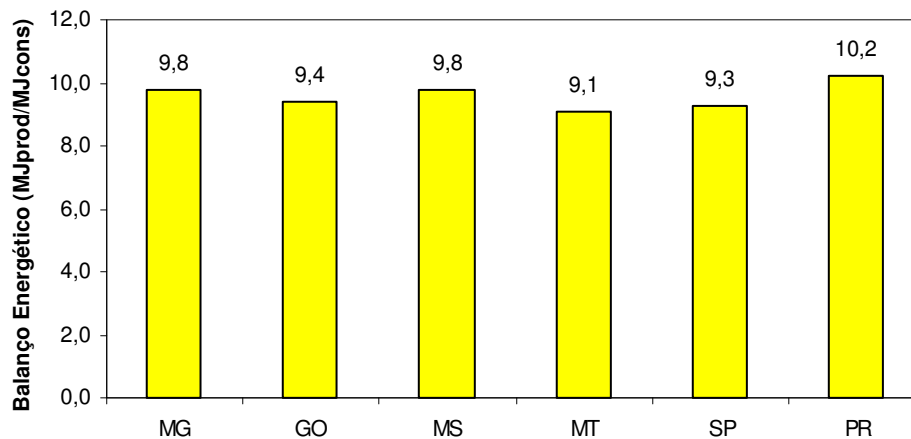


Fonte: Silva (2009)

**Figura 87 - Razão energia do produto/energia fóssil consumida na cadeia de produção e consumo do etanol (etanol consumido no transporte da cana e na distribuição do etanol)**

No trabalho de referência (Silva, 2009) foi considerada a exportação de etanol brasileiro para a Europa. Supondo o transporte do etanol por caminhão desde a usina produtora até o porto de Santos, os resultados dos estados do Centro-Oeste são, evidentemente, bastante impactados quando do uso de diesel. Por outro lado, considerado o uso de etanol aditivado, os ganhos seriam mais significativos. Por exemplo, nos casos da produção em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, e exportação por Santos, o consumo energético nas etapas de transporte de cana e de distribuição do etanol seria quatro vezes menor em relação à situação com uso de diesel.

Na Figura 88 são apresentadas as razões energia produzida/energia fóssil consumida quando da consideração de uso final na Europa. Como comentado anteriormente, a variação dos resultados entre os estados é explicada pelas produtividades, pela prática de colheita mecanizada, e pela distância médias das unidades produtoras aos portos.

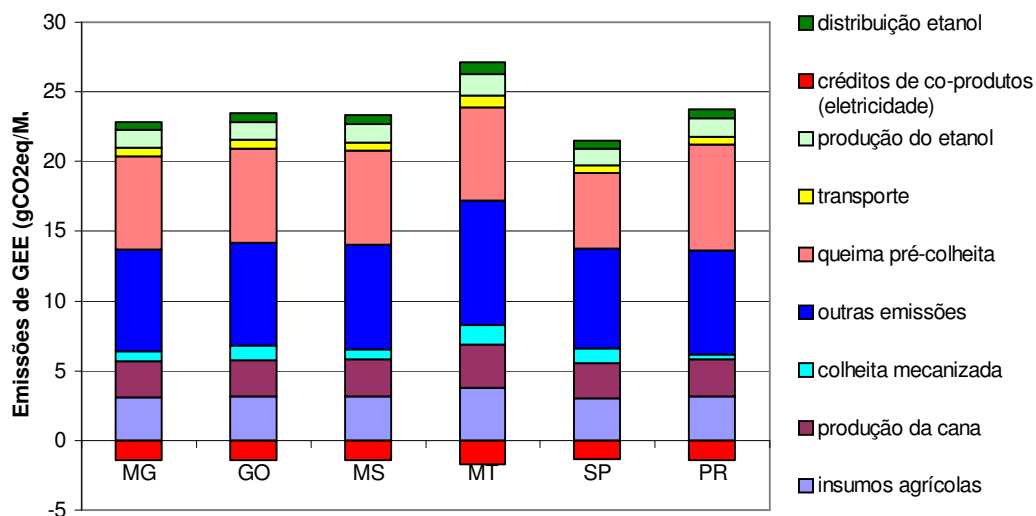


Fonte: Silva (2009)

**Figura 88 - Razão energia do produto/energia fóssil consumida na cadeia de produção e consumo do etanol na Europa (etanol consumido no transporte da cana e na distribuição do etanol)**

As emissões de GEE associadas ao consumo de B3 nas etapas de transporte de cana e distribuição do etanol representam, em média, 18% das emissões totais de GEE na cadeia produtiva do etanol produzido e consumido no Brasil. Para o cálculo das emissões de GEE associadas ao uso do etanol em substituição ao B3, as emissões de GEE nas etapas nas quais ocorre a substituição foram corrigidas considerando as novas emissões totais de GEE.

As emissões totais de GEE, detalhadas por etapa do ciclo de vida do etanol, são apresentadas na Figura 89.



Fonte: Silva (2009)

**Figura 89 - Emissões de GEE nas etapas do ciclo de vida do etanol, considerado o uso de etanol no transporte da cana e distribuição do etanol**

Considerada a substituição de diesel (B3) por etanol nas etapas de transporte da cana e distribuição do etanol, as emissões de GEE nessas etapas passam a representar, em média, 5% das emissões totais de GEE (considerado o consumo no Brasil). As emissões de GEE nessas etapas são reduzidas em 70%.

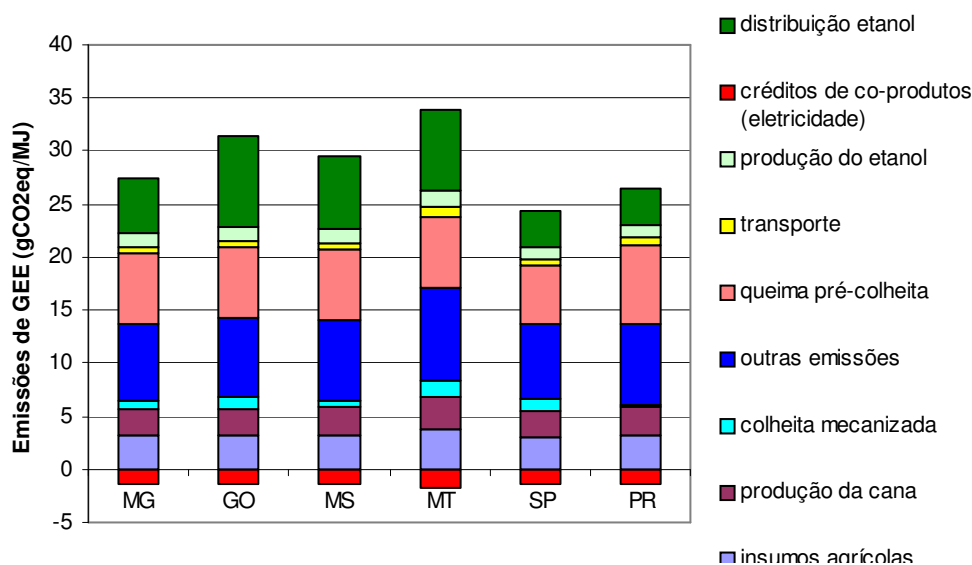
De acordo com Velázquez (2008), o ônibus testado em São Paulo teve consumo volumétrico de etanol aditivado 60% maior do que de diesel, que é exatamente a relação entre os PCIs do diesel e do etanol anidro. Portanto, o fator de substituição indica que não há alteração da eficiência térmica do motor quando da substituição entre combustíveis.

Os resultados das emissões evitadas em relação às da gasolina, considerado o uso de etanol aditivado em substituição ao diesel, variam de 71,6% quando da produção em Mato Grosso a 77,6% quando da produção em São Paulo. Os resultados do caso de referência (uso de B3) variam de 68,1% a 74,4%, para a produção em Mato Grosso e São Paulo, respectivamente. Portanto, nota-se que nesse caso o ganho em emissões evitadas é marginal.

No trabalho de referência (Silva, 2009), também foram estimados os impactos da substituição quando do consumo do etanol brasileiro na Europa. Como seria esperado, o balanço de emissões na situação em que o transporte até os portos ocorre por caminhões, e o combustível é o B3, é bastante impactado por essa etapa. As emissões de GEE só no transporte das usinas até os portos são 41% das emissões totais de GEE do ciclo de vida do etanol brasileiro consumido na Europa (média da produção nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso). Considerada a produção nos estados de São Paulo e Paraná, essas emissões são menores, devido à menor distância, mas ainda significativas (em média 17%). Por outro lado, considerando as emissões de GEE na etapa de

transporte da cana até as usinas, as emissões combinadas passam a representar 46% e 25%, respectivamente, das emissões de GEE do etanol brasileiro consumido na Europa.

Na Figura 90 são apresentadas as emissões de GEE na várias etapas da cadeia produtiva do etanol produzido no Brasil e consumido na Europa, quando o B3 é substituído por etanol nas etapas de transporte da cana e distribuição do etanol.



Fonte: Silva (2009)

**Figura 90 - Emissões de GEE nas etapas do ciclo de vida do etanol, considerado o uso de etanol no transporte da cana e distribuição do etanol; etanol consumido na Europa**

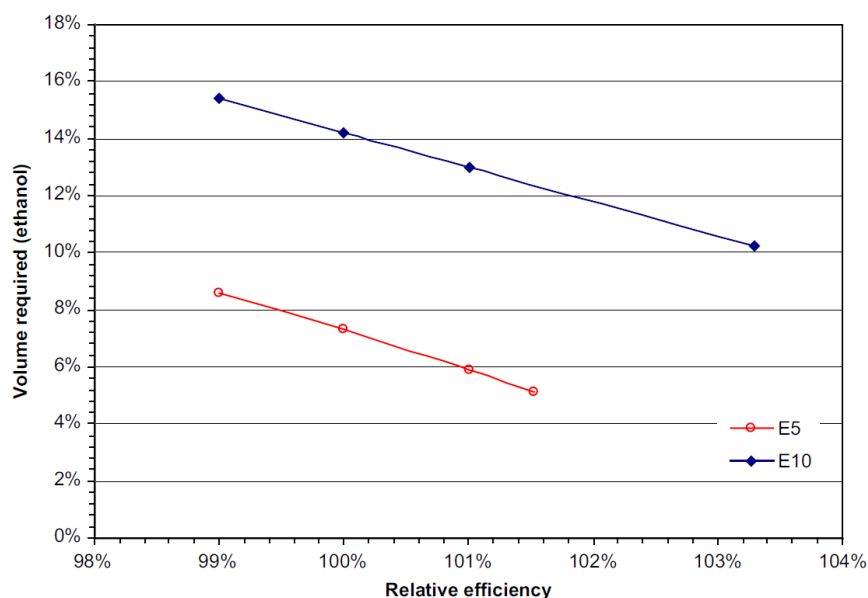
As emissões evitadas de GEE no caso em questão foram estimadas entre 57,6% e 71,7%, para produção em Mato Grosso e em São Paulo, respectivamente. Os resultados do caso de referência (uso de B3) variam de 43,5% a 65,8%, para a produção em Mato Grosso e São Paulo, respectivamente. Portanto, nota-se que neste caso o ganho em emissões evitadas é significativo. Com efeito, os produtores que têm unidades no Centro-Oeste sabem que o transporte de etanol por caminhões até os portos pode diminuir em muito a atratividade do negócio, tanto do ponto de vista econômico, quanto energético e ambiental.

### 2.4.3 Perspectivas de redução das emissões no uso final

Do ponto de vista das emissões de GEE, o impacto do uso final está associado às eficiências relativas de uso de etanol e de gasolina em motores de ignição por centelha (ciclo Otto).

Como ilustração, na Figura 91 é apresentado um diagrama que permite estimar o volume de etanol hidratado requerido, quando do uso de misturas E5 e E10, em função da eficiência relativa dos motores que usam essas misturas em relação ao uso de gasolina pura. Eficiências relativas menores do que 100% implicam perda de eficiência quando do uso de E5 ou E10, e o oposto com relação a valores maiores do que 100%. Os valores mais a direita em cada linha indicam os resultados típicos dos veículos brasileiros que operariam com E5 e E10, em relação ao uso de gasolina pura. Até o advento dos veículos flex-fuel, o consumo específico (em base volumétrica) de um automóvel brasileiro operando com E22 era 5,5% maior do que

quando da operação com gasolina pura, e no caso do uso de E100, o consumo específico típico era 29,4% maior (Joseph Jr., 2005). Tendo em conta a relação dos PCIs do etanol hidratado e da gasolina pura, tais resultados indicam significativo ganho de eficiência quando do uso de etanol<sup>42</sup>.



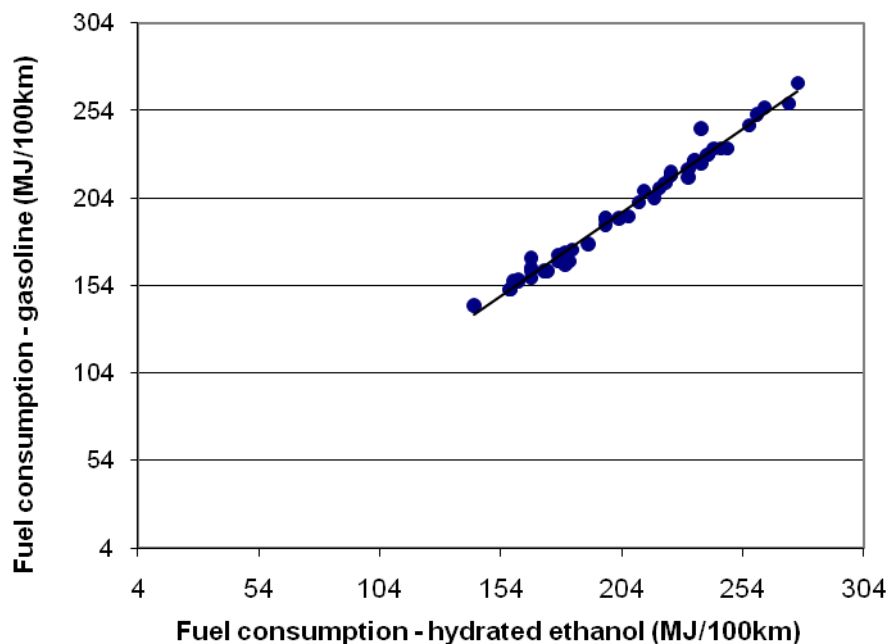
Fonte: Walter et al. (2008)

**Figura 91 - Volume requerido de etanol anidro em misturas E5 e E10, em função da eficiência relativa dos motores usando E5 (ou E10) e gasolina pura.**

Entretanto, com o advento dos veículos flex-fuel, e os avanços da eletrônica, essa situação foi significativamente alterada. Os veículos flex-fuel no Brasil têm taxa de compressão maior do que os antigos veículos puramente a gasolina, mas menor do que os veículos puramente a etanol. Para que operem bem com gasolina, sem problemas associados à detonação, faz-se uso dos recursos de gerenciamento eletrônico mais modernos, que não eram muito utilizados anos atrás. Também há de se ter em conta que grande parte dos modelos flex-fuel disponíveis no Brasil não foram desenvolvidos especificamente para uso de etanol.

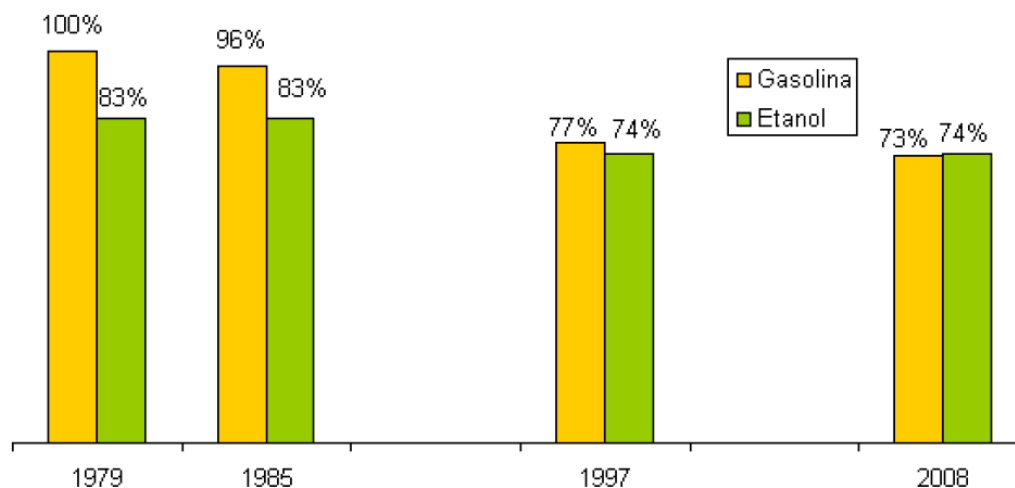
Tendo por base o consumo específico (km/l) de 24 modelos 2009 de automóveis flex-fuel, de quatro fabricantes (Fiat, GM, Honda e VW), foi estabelecida a relação de consumos específicos (MJ/100 km) apresentada na Figura 92, considerando o uso desses modelos com E100 (etanol hidratado) ou E25 (gasolina C brasileira), em trânsito urbano e rodoviário. A eficiência relativa média dos veículos em trânsito urbano, quando do uso de E100 (em relação ao uso de E22) é 96% (ou seja, perda de 4% na eficiência), enquanto em trânsito rodoviários a eficiência relativa média é 96,2%. Há casos em que a eficiência relativa em trânsito urbano é tão baixa quanto 93,2-93,9%, e situações ainda piores em trânsito rodoviário, com eficiências relativas tão baixas quanto 91,9-92,2%.

<sup>42</sup> O consumo específico no caso do uso de E100 teria de ser 54% se não houvesse ganhos de eficiência.



**Figura 92 - Relação entre consumos específicos de veículos flex-fuel usando E22 (gasolina C) e E100 (etanol hidratado), em trânsito urbano e interurbano**

Ratificando a percepção de perda de eficiência energética relativa dos automóveis que consomem etanol em relação aqueles que consomem gasolina, na Figura 93 são mostrados resultados de testes de consumo de veículos, através de um indicador que pondera sua massa e a potência. No caso dos veículos flex-fuel, os resultados são para a operação dos mesmos com E22 ou E100, exclusivamente. Observa-se claramente que a vantagem que tinham os veículos a etanol, nos anos 1970 e 1980, foi perdida nas últimas duas décadas.



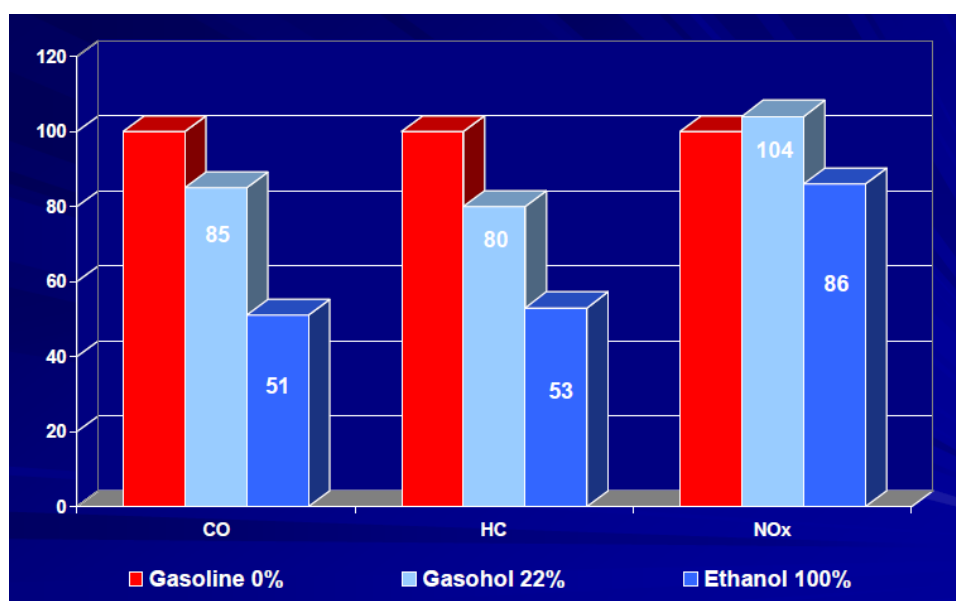
Fonte: Nigro (2009)

**Figura 93 - Evolução do consumo de combustível de veículos leves, a gasolina e a etanol (resultados médios de veículos testados, ponderados pela massa do veículo e a potência do motor)**



Os impactos de tal fato são significativos não só do ponto de vista das emissões evitadas em relação à gasolina, quanto do ponto de vista da economicidade do uso de etanol em relação à gasolina em veículos flex.

Quanto às emissões reguladas de veículos leves, ou seja, emissões de monóxido de carbono, de hidrocarbonetos e de óxidos de nitrogênio, são conhecidas e foram demonstradas as vantagens do uso do etanol em substituição parcial ou total da gasolina, com pequena desvantagem quanto às emissões de óxidos de nitrogênio, em alguns casos, quando do uso de misturas em relação à gasolina pura. Tal afirmação, verdadeira nos anos 1980 e parte dos anos 1990, é comprovada pelos resultados da ANFAVEA, apresentados na Figura 94, que reportam resultados de testes de emissões de veículos leves.

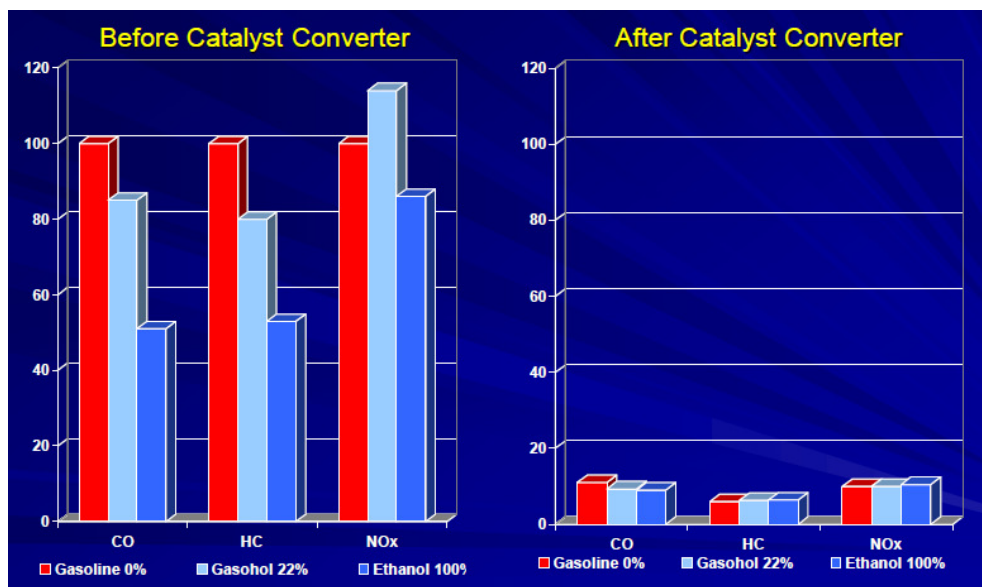


Fonte: Joseph Jr. (2005)

**Figura 94 - Resultados relativos de testes de emissões de veículos leves, nos anos 1980 e início dos anos 1990.**

Ocorre que com o uso disseminado de catalisadores em veículos leves, a partir dos anos 1990, as significativas vantagens que tinham os veículos a etanol em relação aos veículos a gasolina, no que diz respeito às emissões reguladas, deixaram de existir. A afirmação também é confirmada pela informação apresentada na Figura 95, também preparada pela ANFAVEA, e que usa resultados de testes de emissões de veículos leves. Os resultados identificados como "before catalyst converter" correspondem às emissões de veículos sem catalisadores, ou com os mesmos danificados, enquanto os resultados identificados como "after catalyst converter" correspondem às emissões em veículos novos, com catalisadores em perfeitas condições<sup>43</sup>.

<sup>43</sup> Cabe comentar que a vida útil de um catalisador é relativamente curta, que não há inspeção regular de veículos no Brasil, e que não é hábito dos brasileiros trocar voluntariamente o catalisador do veículo após certo tempo. Portanto, a vantagem do etanol em relação ao uso da gasolina, ou de E22, ainda continua a existir, principalmente para a fração mais antiga da frota.



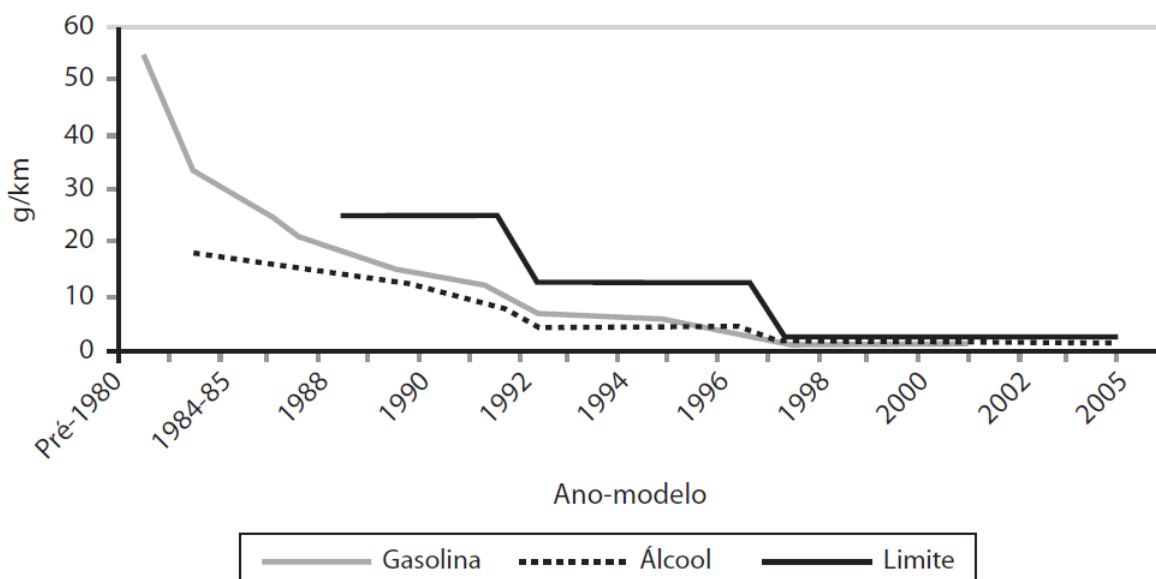
Fonte: Joseph Jr. (2005)

**Figura 95 - Resultados de testes de emissões de veículos leves, comparando emissões antes e após o catalisador.**

As Figuras

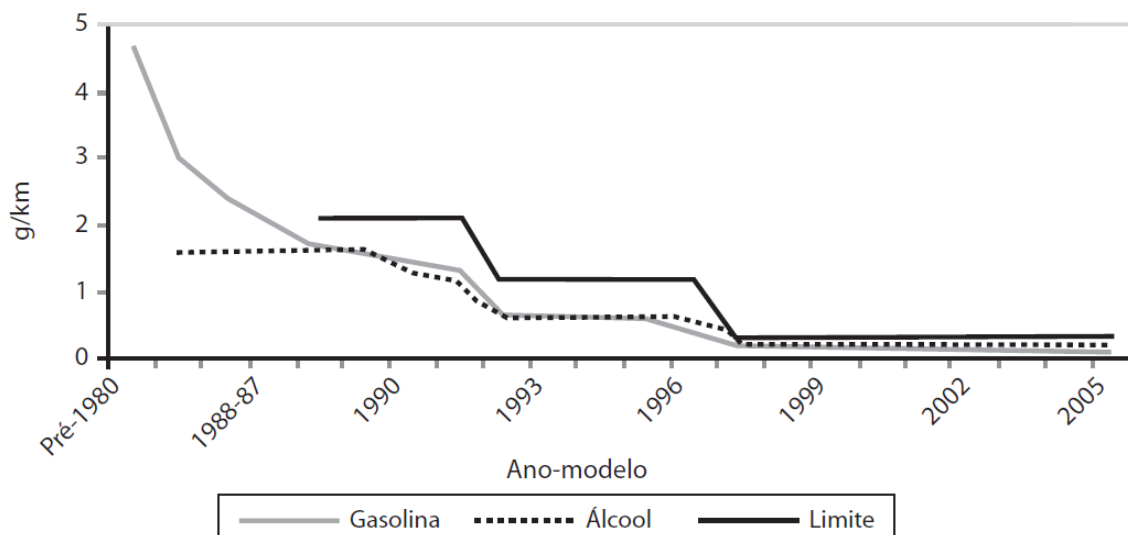
Figura 96,

Figura 97 e Figura 98, retiradas de capítulo de Alfred Szwarc, em livro recentemente lançado (Cortez, 2010), mostram que as emissões reguladas quando do uso do etanol raramente foram maiores do que as emissões de veículos a gasolina, desde o início do controle efetivo das emissões veiculares pelo PROCONVE, nos anos 1980 (até 2005, último ano de disponibilidade da informação). E, como não poderia ser diferente, sempre estiveram abaixo dos limites da regulação em vigor. Nas figuras são apresentados resultados dos testes de emissões veiculares realizados no laboratório da CETESB, em São Paulo.



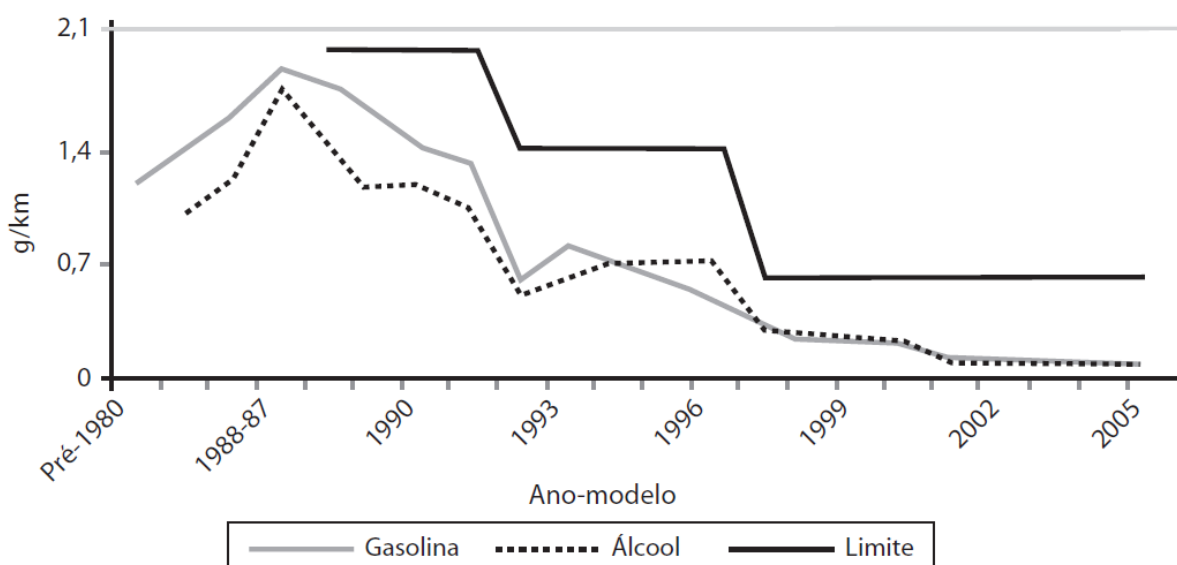
Fonte: Szwarc (2010)

**Figura 96 - Resultados médios de testes de emissões de CO em veículos leves novos**



Fonte: Szwarc (2010)

**Figura 97 - Resultados médios de testes de emissões de hidrocarbonetos em veículos leves novos**



Fonte: Szwarc (2010)

**Figura 98 - Resultados médios de testes de emissões de óxidos de nitrogênio em veículos leves novos**

Cabe comentar que os resultados nos anos 1990 são compreensíveis, pois a indústria automobilística ficou vários anos sem investir no desenvolvimento tecnológico dos motores a etanol.

No período 2005-2009 outro padrão de emissões esteve em vigor, e a partir do início de 2009 os padrões se tornaram mais rigorosos, como pode ser visto na Figura 99. De qualquer forma, todos os veículos comercializados no Brasil atendem os padrões de emissão definidos pelo PROCONVE.

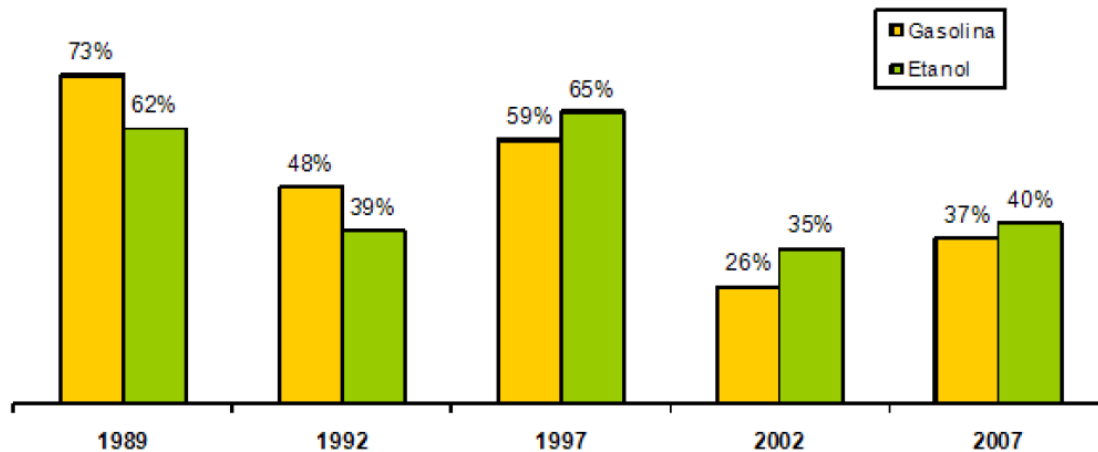
POLUENTES	LIMITES		
	até 31/12/2006	desde 01/01/2005 <sup>(1)</sup>	a partir de 01/01/2009
monóxido de carbono (CO em g/km)	2,00	2,00	2,00
hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,30	0,30 <sup>(2)</sup>	0,30 <sup>(2)</sup>
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	NE	0,16	0,05
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,60	0,25 <sup>(3)</sup> ou 0,60 <sup>(4)</sup>	0,12 <sup>(3)</sup> ou 0,25 <sup>(4)</sup>
material particulado (MP em g/km)	0,05	0,08	0,05
aldeídos (CHO g/km)	0,03	0,03	0,02
emissão evaporativa (g/ensaio)	2,00	2,0	2,0
emissão de gás no cárter	nula	nula	nula

(1) em 2005 -> para 40% dos veículos comercializados;  
em 2006 -> para 70% dos veículos comercializados;  
a partir de 2007 -> para 100% dos veículos comercializados.  
(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;  
(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;  
(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;  
(NE) não exigível.

Fonte: PROCONVE

**Figura 99 - Evolução recente dos padrões de emissão de veículos leves novos.**

Ainda a respeito do tema, a relativa desvantagem que os veículos novos a etanol tiveram nos anos 1990, em relação às emissões reguladas dos veículos a gasolina, foi parcialmente reduzida com o advento dos veículos flex-fuel, após 2003, como é mostrado na Figura 100. Os resultados apresentados correspondem a resultados de testes de emissões veiculares (veículos novos), e o indicador foi calculado pela razão das emissões efetivas em relação às emissões limite; foi calculada uma média algébrica dos valores obtidos para os três poluentes regulados.



Fonte: Nigro (2009)

**Figura 100 - Evolução das emissões de poluentes regulados em veículos leves novos, a gasolina e a etanol**

Um aspecto importante, destacado por Nigro (2009), é que com o maior rigor dos padrões, as emissões durante a “fase fria” dos testes se tornam maiores para os veículos a etanol em relação aos veículos a gasolina. Em parte, tal problema pode ser contornado com o desenvolvimento tecnológico dos motores, tendo em conta especificidades do etanol como combustível.

Tal aspecto foi a razão de uma polêmica no Brasil, entre Setembro e Dezembro de 2009, quando o IBAMA-MMA divulgou um ranking de veículos mais e menos poluentes, a partir da atribuição de uma nota (“nota verde”), que era calculada pela razão das emissões efetivas em relação aos limites de emissão de cada poluente. Entre os dez modelos considerados mais poluentes, havia cinco modelos que nos testes operaram a etanol, enquanto entre os dez menos poluentes havia apenas dois a etanol. Cabe notar que entre os dez veículos “menos poluentes” havia quatro modelos da Honda, que são justamente aqueles que têm maior consumo de etanol.

Pressionado por diferentes segmentos da sociedade, o IBAMA-MMA alterou a divulgação dos resultados em Dezembro de 2009, passando a utilizar conceitos (uma a cinco estrelas), ao invés de uma nota. Infelizmente, a qualidade da informação foi reduzida, uma vez que as emissões de um dado modelo flex-fuel não podem mais ser comparadas quando de sua operação com etanol (E100) e gasolina (E22-E25).

Para finalizar, cabe um comentário sobre a emissão de aldeídos (R-CHO). Segundo Szwarc (2010), embora seja verdade que a combustão do etanol gera aldeídos, isso também ocorre quando do uso de outros combustíveis. Um ponto que merece destaque é que os combustíveis fósseis geram preferencialmente aldeídos que apresenta elevada toxidez e alta reatividade fotoquímica na atmosfera, caso do formaldeído, enquanto que a combustão do etanol gera principalmente o acetaldeído, produto de toxidez mais baixa e de menor impacto ambiental. De todo modo, graças aos avanços da tecnologia automotiva, a emissão de aldeídos tem sido bastante reduzida ao longo dos anos.

## **2.5 Perspectivas da evolução dos principais indicadores de sustentabilidade (social, ambiental, econômica) e trajetórias tecnológicas no setor e sua relação com as emissões de GEE<sup>44</sup>**

As atividades desenvolvidas nesse item do Objetivo Específico 2 do projeto dizem respeito às projeções, até o ano de 2030, da evolução de alguns indicadores de sustentabilidade que foram estimados na fase anterior desse projeto, levando-se em consideração as perspectivas das trajetórias tecnológicas na produção de cana-de-açúcar, da produção de etanol, bem como alterações no cenário energético e no cenário econômico do país para o período.

Para que se tenha uma análise integrada da produção de etanol dentro da cadeia produtiva, os indicadores foram estimados usando-se a análise de insumo-produto, de tal modo que as perspectivas de alterações na matriz energética brasileira, na produção de cana e na produção de etanol foram introduzidas na cadeia produtiva da economia. Os indicadores foram quantificados para a produção de cana-de-açúcar e para a produção de etanol, dizendo respeito (i) ao nível da atividade setorial em toda a economia, (ii) ao produto interno bruto, (iii) empregos gerados e remuneração média dos trabalhadores, (iv) energia primária incorporada (com distinção entre a parcela renovável e a não-renovável) e (v) emissões de CO<sub>2</sub> devido ao uso de combustíveis fósseis.

As perspectivas das trajetórias tecnológicas para a produção de cana-de-açúcar e etanol, bem como os cenários relativos à evolução da matriz energética e à economia foram fundamentados no Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007).

Os resultados das projeções são apresentados para os anos de 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030. Como o modelo de insumo-produto é a base para o trabalho realizado, ele é apresentado no próximo item, cujo conteúdo é idêntico ao apresentado na Fase 1 desse projeto. Em seguida, são apresentados o roteiro para o processo de estimativa das matrizes de insumo-produto, as hipóteses assumidas no trabalho e os resultados obtidos.

### **2.5.1 Metodologia – análise de insumo-produto<sup>45</sup>**

A extração de recursos naturais, entre eles a energia primária, pode ser tomada como externa à cadeia produtiva, cruzando a sua fronteira para a produção dos bens e serviços, e saindo da cadeia produtiva incorporada nos bens e serviços a serem consumidos na demanda final, como ilustra a Figura 101

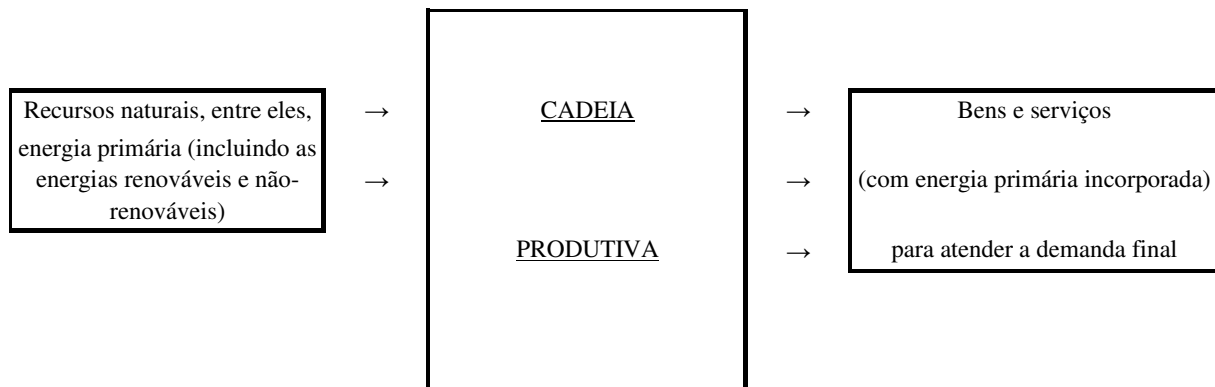
Há diversos autores que buscaram desenvolver métodos para avaliar a energia incorporada nos produtos produzidos por um sistema econômico. Entre eles, podem ser citados os trabalhos advindos do uso metodologia de insumo-produto proposta por Wassily Leontief em 1939 (Miller & Blair, 1985). No modelo de insumo-produto, é possível avaliar a quantidade de energia primária incorporada na demanda final por um determinado setor considerando-se não somente o uso direto de energia

---

<sup>44</sup> Pesquisadores responsáveis: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP), Marcelo Cunha (NIPE/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

<sup>45</sup> Baseado em Cunha e Pereira, 2008

para sua produção, mas também os usos indiretos advindos do uso direto de energia empregados nos insumos usados pelo setor original.



**Figura 101 - Fluxos através da fronteira da cadeia produtiva**

Esse trabalho contempla a avaliação da energia primária incorporada na produção de cana e etanol através de indicadores que mensuram as energias primárias renováveis e não-renováveis usadas em toda a cadeia produtiva, ou seja, considerando-se os efeitos diretos e indiretos. A metodologia empregada faz uso do modelo de insumo-produto, que é descrito a seguir.

O modelo de insumo-produto foi formulado por Wassily Leontief na década de 1930, com o objetivo de descrever o fluxo monetário entre os setores produtivos em uma economia. A sua primeira aplicação foi realizada para descrever as relações inter-setoriais na economia norte-americana no ano de 1919 e, posteriormente, em 1929. Desde então, o modelo têm sido usado em diversos trabalhos em economia aplicada, incluindo estudos em economia regional, aplicações em estudos energéticos e ecológicos. Por seus trabalhos na área de economia envolvendo a análise de insumo-produto, Leontief recebeu o prêmio Nobel de economia em 1973.

Uma forma didática de compreender o modelo pode ser feita enxergando-se a economia de um país agregada em alguns setores. Considere-se, então, o quadro apresentado na Tabela 71, que mostra as transações econômicas realizadas na economia brasileira, agregadas em 4 setores, para o ano de 2005<sup>46</sup>, onde os setores produtivos são identificados como: **S1**: Agropecuária; **S2**: Petróleo e gás; **S3**: Transformação; **S4**: Serviços.

46 As transações são estimativas realizadas pelo autor a partir dos dados das Contas Nacionais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2007) e pelo Balanço Energético Nacional (EPE - 2007)

Tabela 71 - Tabela de transações para a economia brasileira em 2005

<i>Brasil 2005</i> (R\$ bilhão)	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	Y	X
<i>S<sub>1</sub> – Agropecuária</i>	17,14	0,01	107,7 3	3,21	66,38	<b>194,48</b>
<i>S<sub>2</sub> – Petróleo e gás</i>	0,03	2,17	58,47	0,10	10,42	<b>71,20</b>
<i>S<sub>3</sub> - Transformação</i>	45,50	12,4 2	578,1 2	198,2 0	816,3 7	<b>1.650,6 3</b>
<i>S<sub>4</sub> - Serviços</i>	15,05	20,3 9	220,8 6	375,9 0	1.238, 19	<b>1.870,3 9</b>
<i>Importação</i>	6,27	2,89	99,12	34,22	104,8 5	
<i>W (valor adicionado)</i>	110,49	33,3 0	586,3 1	1.258, 75	158,3 8	
<i>X<sup>T</sup></i>	<b>194,48</b>	<b>71,2 0</b>	<b>1.650 ,63</b>	<b>1.870, 39</b>		
<i>E (10<sup>6</sup> tep)</i>	15,12	4,67	180,2 9	12,15	40,48	

Completando-se a identificação das colunas na Tabela 2.5.1, **Y** corresponde à demanda final (formada pelo consumo das famílias, pelo consumo do governo, pelas exportações e pela formação bruta de capital – investimentos), e **X** às receitas de cada um dos setores. Em relação às linhas, na mesma tabela, **Import.** identifica as importações realizadas pelos setores (**S1** a **S4**) e pela demanda final (**Y**); **W** as despesas dos setores da economia e da demanda final no pagamento em impostos, remuneração dos fatores trabalho e capital; **X<sup>T</sup>** as despesas totais na produção de cada setor e, finalmente, **E** corresponde à oferta total de energia<sup>47</sup> empregada diretamente pelos setores da economia e pela demanda final.

A Tabela 71 pode ser vista como uma matriz de contabilidade dos setores econômicos. Por exemplo, ao examinar-se a coluna S3 (Transformação), pode-se observar que, em 2005, este setor usou R\$ 107,73 bilhões de insumos do setor **S1** (Agropecuária), e assim por diante, até chegar-se ao consumo de insumos do setor **S4** no valor de R\$ 220,86 bilhões. Completando-se as despesas realizadas pelo setor **S3**, devem-se somar as despesas com importações (R\$ 99,12 bilhões) e aquelas realizadas no pagamento de impostos e remuneração dos fatores trabalho e capital (R\$ 586,31 bilhões). Então, o total das despesas realizadas pelo setor **S3** em 2005 foi de R\$ 1.650,63 bilhões, incluindo-se neste valor a remuneração sobre o fator capital.

Por outro lado, olhando-se a linha ocupada pelo setor **S3** na Tabela 2.5.1, observa-se que o setor **S1** consumiu R\$ 45,50 bilhões de insumos do setor **S3** (ou que o setor **S3** vendeu R\$ 45,50 bilhões em insumos para o consumo do setor **S1**), e

47 A oferta total de energia corresponde à soma da produção de energia primária com as importações e variações de estoques das fontes de energia primária e secundária.



assim sucessivamente, até o consumo de R\$ 198,20 bilhões pelo setor **S4**. Ainda na mesma linha, o setor **S3** forneceu R\$ 816,37 bilhões para atender à demanda final (**Y**). Então, os valores que constam na linha ocupada pelo setor **S3** são interpretados como as receitas deste setor em função das vendas realizadas para os outros setores produtivos (**S1 a S4**) e para atender a demanda final (**Y**). A soma de todas as receitas do setor **S4** é igual a R\$ 1.650,63 bilhões, justamente o valor das despesas, sendo denominado de valor da produção do setor. O exame das despesas e receitas pode ser feito para todos os setores (**S1 a S4**) na Tabela 2.5.1.

Na Tabela 71, vista como uma matriz, cada um de seus elementos será identificado, de forma genérica, por  $z_{ij}$ , sendo  $i$  a identificação da linha e  $j$  a identificação da coluna. Focando-se em um determinado setor, podem-se definir coeficientes técnicos diretos de produção relacionados aos valores necessários de insumos de outros setores para se produzir R\$ 1,00 daquele setor. Por exemplo, olhando-se novamente para a coluna ocupada pelo setor S3, se dividirmos os R\$ 220,86 bilhões de insumos (fornecidos pelo setor S4) pelo valor da produção do setor S3 (R\$ 1.650,63 bilhões), encontramos o valor 0,134, significando que para produzir R\$ 1,00, o setor S3 consome R\$ 0,134 do setor S4.

Este valor, 0,134, é o coeficiente técnico direto de produção do setor **S3** pelo setor **S4**, sendo identificado por  $a_{34}$ . De modo geral, o coeficiente técnico direto de produção  $a_{ij}$ , interpretado como os insumos fornecidos pelo setor  $i$  ao setor  $j$  para a produção de R\$ 1,00 do setor  $j$ , é definido por:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (1)$$

Na Tabela 71, pode-se calcular a matriz  $A = [a_{ij}]$ , a partir da equação (1), cujo resultado é apresentado a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} 0,088 & 0,000 & 0,065 & 0,002 \\ 0,000 & 0,031 & 0,035 & 0,000 \\ 0,234 & 0,175 & 0,350 & 0,106 \\ 0,077 & 0,286 & 0,134 & 0,201 \end{bmatrix}$$

O equilíbrio econômico em cada setor produtivo é dado pela igualdade entre suas receitas e suas despesas. Para o setor **S3**, por exemplo, esta condição pode ser escrita como:

$$z_{31} + \dots + z_{34} + Y_3 = X_3 \Rightarrow \sum_{j=1}^4 z_{3j} + Y_3 = X_3$$

A condição acima pode ser generalizada para todos os setores, de tal modo que:

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} + Y_j = X_j \quad (2)$$

para  $1 \leq i \leq n$  e  $1 \leq j \leq n$

sendo  $n$  o número de setores da economia

A partir da equação (1), obtém-se  $z_{ij} = a_{ij}.X_j$ , que colocada na equação (2) torna-se:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}.X_j + Y_j = X_j \quad (3)$$

O sistema de equações acima pode ser escrito na forma matricial como:

$$A.X + Y = X \quad (4)$$

A equação matricial (4) pode ser resolvida para X (vetor com o valor da produção de cada um dos setores) em função de Y (vetor com o valor da demanda final de cada um dos setores), cujo resultado é:

$$X = (I - A)^{-1}.Y \quad (5)$$

onde I é a matriz identidade de ordem n.

A equação (5) nos fornece qual o valor da produção de cada um dos setores para atender a demanda final por um ou mais setores, considerando que um setor usa insumos dos outros setores para sua produção, e esses setores usam também insumos de outros setores para atender a demanda por estes insumos, e assim sucessivamente. Este efeito de somar os insumos necessários de todos os setores para atender a demanda final é chamado de efeito indireto.

A partir da matriz  $(I - A)^{-1}$  pode-se obter o valor da produção de todos os setores considerando a soma dos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva para atender a uma determinada demanda final. No exemplo da Tabela 71, a partir da matriz A obtida, a matriz  $(I - A)^{-1}$  é igual a:

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix}$$

Então, considere-se o exemplo de aumentar a demanda final (podendo ser o consumo das famílias) em R\$ 1 bilhão em produtos fornecidos pelo setor da transformação (setor **S3**). Para que sejam atendidos estes R\$ 1 bilhão, todos os setores econômicos da cadeia produtiva serão acionados, e o valor da produção adicional de cada setor será dado pelo uso da equação (5), que neste caso torna-se:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,119 \\ 0,060 \\ 1,648 \\ 0,309 \end{bmatrix}$$

Deste modo, para que as famílias possam consumir mais R\$ 1 bilhão em produtos do setor da indústria da transformação, é necessária a produção adicional de R\$ 0,119 bilhão da agropecuária, e assim por diante, até chegarmos ao valor de R\$ 1,648 bilhão da indústria da transformação e R\$ 0,309 bilhão do setor de serviços. A soma dos valores das produções necessárias em cada setor totaliza R\$ 2,136 bilhões, ou seja, para que as famílias consumam mais R\$ 1 bilhão do setor da indústria da transformação, toda a economia precisa produzir mais R\$ 2,136 bilhões, devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva.

Assim, o uso da equação (5) é um instrumento valioso para se avaliar o impacto na produção de todos os setores econômicos em função do choque realizado para se atender à demanda final de um ou mais setores.

De posse dos impactos nos valores da produção de cada setor, é possível calcular, também, a energia primária consumida por eles. Assumindo-se novamente o conceito de coeficientes técnicos diretos, a partir da Tabela 71 pode-se calcular a quantidade de energia primária consumida para que um determinado setor produza R\$ 1 bilhão. Por exemplo, para o setor **S3**, se dividirmos  $180,29 \cdot 10^6$  tep pelo valor da produção (R\$ 1.650,63 bilhões), teremos o consumo direto de  $0,109 \cdot 10^6$  tep para cada R\$ 1 bilhão no valor da produção, que pode ser interpretado como um coeficiente técnico direto do consumo de energia primária para o setor **S3**. Pode-se, então, definir um vetor **e**, a partir do consumo de energia primária de cada setor e do respectivo valor da produção, do seguinte modo:

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1/X_1 \\ E_2/X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ E_n/X_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

O vetor **e**, no exemplo da Tabela 71, é igual a (os elementos do vetor e estão em  $10^6$ .tep/R\$ 1 bilhão):

$$e = \begin{bmatrix} 0,078 \\ 0,066 \\ 0,109 \\ 0,006 \end{bmatrix}$$

Voltando-se ao exemplo do impacto causado na produção setorial devido ao aumento de R\$ 1 bilhão na demanda final pelo setor **S3**, se multiplicarmos os coeficientes técnicos diretos de energia primária pelos respectivos aumentos das produções setoriais, teremos os aumentos do consumo de energia primária de cada um dos setores, considerando os efeitos diretos e indiretos em toda a cadeia

produtiva. Neste exemplo, os impactos causados no aumento do consumo de energia primária em cada setor seriam dados pelo vetor  $\Delta E$  (em  $10^6$  tep):

$$\Delta E = \begin{bmatrix} 0,078 \times 0,119 \\ 0,066 \times 0,060 \\ 0,109 \times 1,648 \\ 0,006 \times 0,309 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,009 \\ 0,004 \\ 0,180 \\ 0,002 \end{bmatrix}$$

Então, o setor **S1** teria um acréscimo de  $0,009 \cdot 10^6$  tep no consumo de energia primária, e assim sucessivamente, até um acréscimo de  $0,002 \cdot 10^6$  tep no setor **S4**. Somando-se os acréscimos do consumo de energia primária em cada um dos quatro setores, o acréscimo total é de  $0,195 \cdot 10^6$  tep. Portanto, o setor **S3** usa diretamente  $0,109 \cdot 10^6$  tep para cada R\$ 1 bilhão em sua produção, mas possui  $0,195 \cdot 10^6$  tep de energia primária incorporada para cada R\$ 1 bilhão disponíveis na demanda final (um valor 79% maior), devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva da economia.

Usando-se a metodologia apresentada, as informações das transações setoriais para a economia brasileira disponibilizada pelo IBGE e as informações da oferta total de energia (Balanço Energético Nacional), será realizado o cálculo da energia incorporada nos setores na demanda final, desagregando-se, ainda, a energia primária renovável da não-renovável.

### 2.5.2 Estimativa das matrizes de insumo-produto

Como mencionado anteriormente, os cálculos dos indicadores sócio-econômico-ambientais foram feitos para os anos de 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030, usando-se, essencialmente, a análise de insumo-produto. Nesse sentido, foi necessário estimar matrizes de insumo-produto para cada um desses anos.

Usando-se os dados disponíveis a respeito das Tabelas de Recursos e Usos do IBGE, até a data em que esse trabalho foi realizado é possível estimar uma matriz para o Brasil até o ano de 2007. Entretanto, como os períodos relativos às projeções feitas tem um intervalo de 5 anos, e dado o estudo já realizado na fase anterior desse projeto, as projeções foram realizadas a partir da matriz de insumo-produto brasileira de 2005. Então, a matriz de 2010 teve como ponto de partida a matriz de 2005; uma vez obtida a matriz de 2010, essa serviu de base para a matriz de 2015, e assim sucessivamente, até a obtenção da matriz de 2030 a partir da matriz de 2025. Todas as matrizes consistem em abordar a economia agregada em 57 setores e 110 produtos.

A seguir, são descritas sucintamente as etapas de obtenção da matriz de 2010 a partir da matriz de 2005; naturalmente, essas etapas são as mesmas quando se estima a matriz de 2015 a partir da matriz de 2010, e assim por diante:

- 1) Matriz de insumo-produto (MIP) inicial se refere ao ano de 2005;
- 2) Aplicar a taxa de aumento do PIB entre 2005 e 2010 para obter o valor do PIB de 2010;

- 3) Obter a demanda final a preço de consumidor (DFpc) de 2010 com a expressão  $DFpc/PIB=K1$ , sendo  $K1$  uma constante;
- 4) Obter as importações e os impostos indiretos líquidos da demanda final de 2010 através de proporções em relação à demanda final;
- 5) Desagregar a demanda final a preço básico de 2010 aplicando as proporções sobre agricultura, pecuária, transformação e serviços;
- 6) Obter o total das importações de 2010 através da expressão:  $PIB=DFpc-IMPORTAÇÃO$ ;
- 7) Obter a importação do consumo intermediário de 2010 subtraindo das importações a importação da demanda final;
- 8) Distribuir as importações do consumo intermediário de 2010 em proporções para obter as importações da agricultura, pecuária, transformação e de serviços;
- 9) Usar a equação de Leontief para obter o vetor de valor da produção setorial e o valor adicionado de 2010 a partir da estrutura tecnológica de 2005;
- 10) Corrigir o vetor de valor adicionado de 2010 proporcionalmente para obter um valor coerente com o PIB de 2010;
- 11) Obter o vetor de produção dos produtos da economia de 2010 através da soma do consumo intermediário dos setores por produtos domésticos e da demanda final por produtos domésticos em 2010;
- 12) Obter o vetor da demanda intermediária total por produtos domésticos em 2010;
- 13) Subtrair o vetor de valor adicionado e as importações do consumo intermediário do vetor do valor da produção setorial em 2010 para obter o vetor de consumo intermediário em 2010;
- 14) Verificar a igualdade entre o total da demanda intermediária em 2010 e o total do consumo intermediário em 2010;
- 15) Satisfeita a condição anterior, usar o método biproporcional de ajuste (método conhecido pela sigla RAS) sobre a matriz de consumo intermediário para que ela seja condizente com o vetor da demanda intermediária e com o vetor do consumo intermediário. Nessa fase, é obtida a nova estrutura tecnológica da economia de 2010;
- 16) Calcular a matriz de produção de 2010 usando o método biproporcional de ajuste sobre a matriz de produção de 2005, mas usando-se os vetores de valor da produção setorial e da produção de produtos de 2010;
- 17) Desagregar o setor produtor de cana-de-açúcar do setor de agricultura com a evolução tecnológica esperada para 2010;
- 18) Atualizar o setor produtor de etanol com as evoluções tecnológicas esperadas para 2010;

- 19) Inserir a produção de energia primária de acordo com o cenário de 2010;
- 20) Fazer o choque da demanda final por cana e etanol e calcular os indicadores.

A seguir, são apresentados os históricos e os valores dos parâmetros que foram assumidos para estimar as matrizes de insumo-produto de acordo com as etapas 1 a 20 descritas anteriormente.

No Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), são apresentados 6 cenários econômicos para o Brasil entre 2010 e 2030, levando-se em consideração cenários mundiais e aspectos das condições institucionais do país. O Plano Nacional de Energia aponta o cenário mundial denominado como "Arquipélago" como bastante provável, e para ele, poderiam existir dois cenários para o Brasil, cujas taxas de crescimento anual do PIB seriam 4,1% a.a. ou 3,2% a.a. Nesse trabalho, adotando-se uma visão mais otimista das condições no Brasil, resolveu-se adotar que a taxa anual de crescimento do PIB será de 4,1% a.a.

No que diz respeito à etapa 3 descrita anteriormente, nota-se que a relação DFpc/PIB entre os anos 2000 e 2007 manteve-se entre 1,115 e 1,135; sendo assim, admitiu-se que essa razão (chamada de K1) será de 1,122 (média observada).

Em relação à etapa 4, admitiu-se que as importações da demanda final aumentariam relativamente ao total da demanda final, como consequência do processo de valorização do Real. Essas participações foram admitidas como 5,0%, 5,1%, 5,3%, 5,4% e 5,5% para 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030, respectivamente. No que diz respeito ao total de impostos líquidos de subsídios sobre a demanda final, admitiu-se que não haverá uma reforma tributária alterando essa carga, mantida, assim, em 6,7%.

Na etapa 5, observa-se que não tem havido uma alteração substancial na distribuição, em termos de valores, na composição agregada da demanda final em produtos relativos ao agregado da agricultura, pecuária, indústria e serviços. Então, entre 2010 e 2030, admitiu-se a participação da agricultura na demanda final em 2,0%, da pecuária em 1,0% e da indústria variando entre 39% até 41%, em função do aumento da capacidade da economia doméstica de produzir bens de consumo de bens duráveis. A participação do setor de serviços na demanda final é obtida por resíduo.

Na etapa 8, assumiu-se que as importações do setor agrícola, em relação às importações do consumo intermediário, variam entre 3,4% a 3,6% entre 2010 e 2030, respectivamente; para o setor da indústria de transformação, essa participação foi assumida variar entre 71,6% a 74,0%, dado, novamente, a valorização do Real. A participação das importações pelo setor pecuário foi suposta mantida constante e igual a 1,0%; a participação das importações do setor de serviços foi obtida por resíduo em relação ao total das importações realizadas pelos setores produtivos.

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), a evolução da produtividade do setor produtor de cana foi assumida variar entre 77,0 t/ha a 82,1 t/ha entre 2010 e 2030; a evolução da produtividade de etanol foi considerada entre 82,3 L/t de cana a 92,1 L/t de cana. Ainda de acordo com o PNE, a

participação da produção de etanol celulósico foi suposta variar entre 0,5% a 11,5% do total entre 2010 a 2030.

### 2.5.3 Resultados

Usando-se a análise de insumo-produto, são apresentadas as projeções de alguns indicadores socioeconômicos e do uso de energia para a produção de cana-de-açúcar e etanol, nos anos de 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 e 2030; são eles:

- Multiplicador produção;
- Valor adicionado (PIB);
- Empregos gerados;
- Renda média por trabalhador ao ano;
- Energia primária fóssil incorporada;
- Energia primária renovável incorporada;
- Emissões de CO<sub>2</sub> devido à queima de combustíveis fósseis;

Os indicadores quantificados são calculados por quantidade produzida: no caso da cana, por milhão de toneladas (Mt), e para o etanol, por quatrilhão de joule (PJ)<sup>48</sup>.

O multiplicador de produção (M.P.) é a relação do valor da produção necessária de todos os setores da economia para a produção de uma unidade monetária de algum produto da economia; por exemplo, em 2005, para a produção de R\$ 1 milhão de cana-de-açúcar, o valor da produção de todos os setores da economia é de R\$ 1,94 milhão; assim, o multiplicador de produção da cana em 2005 é 1,94.

A Tabela 72 apresenta o resumo dos indicadores socioeconômicos.

Em relação aos multiplicadores de produção da cana e do etanol, os valores crescentes entre 2010 a 2030 refletem, principalmente, a evolução da mecanização da cultura da cana e o advento da produção de etanol celulósico. Essas evoluções tecnológicas ampliam os impactos em outros setores da cadeia produtiva de insumos em função da demanda de cana-de-açúcar ou etanol.

Em relação ao PIB, nota-se uma redução por quantidade produzida para cana e etanol, dado que os avanços tecnológicos se refletem em ganhos de produtividade, que por sua vez, permitem a produção em escala ainda maior e com redução de preços. Um pequeno aumento para o etanol em 2030, comparado com 2025, pode ser explicado pelo início de uma participação mais expressiva da produção de etanol celulósico, que possui um custo de produção superior ao etanol de 1ª geração.

A queda no número de empregos por unidade produzida, tanto para cana, quanto para o etanol, é consequência inequívoca dos ganhos de produtividade do fator trabalho, especialmente na produção de cana devido à extinção dos cortadores de cana-de-açúcar. Por outro lado, o aumento na remuneração mensal dos trabalhadores (devendo-se lembrar que essa remuneração se deve à média de todos os trabalhadores envolvidos na cadeia produtiva devido aos efeitos diretos e

---

48 1 PJ = 10<sup>15</sup>J = 23,9 ktep

indiretos) se explica em grande medida pelo aumento maciço da mão-de-obra técnica a ser requerida no setor canavieiro devido à adoção da mecanização.

**Tabela 72 - Resumo dos indicadores socioeconômicos**

<b>Produto/ano</b>	<b>Multiplicador de produção</b>	<b>PIB (R\$ milhão de 2005)</b>	<b>Empregos</b>	<b>Remuneração por trabalhador (R\$/mês de 2005)</b>
Cana 2005	1,94	27,2	1.819	575,13
Cana 2010	1,98	23,3	1.578	677,25
Cana 2015	2,03	21,9	1.189	847,87
Cana 2020	2,05	20,9	1.015	896,89
Cana 2025	2,06	20,1	954	918,20
Cana 2030	2,07	19,4	932	929,64
Etanol 2005	2,02	31,4	1.122	760,20
Etanol 2010	2,03	29,3	1.043	837,45
Etanol 2015	2,05	28,3	959	923,26
Etanol 2020	2,08	27,6	897	1.003,43
Etanol 2025	2,14	27,3	845	1.039,96
Etanol 2030	2,18	27,4	776	1.081,08

A Tabela 73 apresenta o resumo dos impactos relativos à energia primária incorporada, bem como às emissões de CO<sub>2</sub> devido à queima de combustíveis fósseis.

**Tabela 73 - Impactos na energia primária e emissões de CO<sub>2</sub>**

<b>Produto/ano</b>	<b>Energia incorporada (PJ)</b>	<b>Participação energia primária renovável</b>	<b>Emissão CO<sub>2</sub> devido à queima de comb. fósseis (Gg)</b>
Etanol 2005	2,06	94,7%	6,3
Etanol 2010	2,09	94,4%	7,1
Etanol 2015	2,13	93,8%	7,6
Etanol 2020	2,12	93,6%	7,9
Etanol 2025	2,11	93,6%	7,8
Etanol 2030	2,09	93,7%	7,4

Entende-se por energia incorporada à quantidade total de energia usada pelo sistema econômico para dispor certa quantidade de um bem ou serviço para consumo. Essa quantidade total de energia é a soma de toda a energia primária com a energia secundária importada para produzir aquele bem ou serviço.



Na produção de 1 PJ de etanol em 2005 na economia brasileira, toda a cadeia produtiva requeria 2,06 PJ de energia primária, dos quais 94,7% correspondiam à energia primária renovável – em sua maior parte as parcelas referentes aos produtos da cana (caldo e melaço para produção de etanol e bagaço para geração de vapor de processo e geração de energia elétrica).

O pequeno aumento da energia primária requerida por PJ produzido de etanol entre 2005 e 2015 se deve pelo aumento do consumo de óleo diesel na produção de cana-de-açúcar devido à quase completa adoção da mecanização até o ano de 2015; as reduções a partir de 2020 se devem aos ganhos contínuos de produtividade na produção de cana e etanol, esta última sendo mais notada pelo início mais expressivo da produção de etanol celulósico.

A evolução da participação da energia primária renovável tem explicação semelhante em relação à energia primária incorporada, ou seja, a pequena redução da participação da energia primária renovável tem seu principal motivo no aumento do uso de óleo diesel na produção de cana.

Finalmente, em termos das emissões de CO<sub>2</sub> devido ao uso de combustíveis fósseis em toda a cadeia produtiva, notam-se que os aumentos por PJ de etanol produzido – ainda que não expressivos – até 2015 tem como base a mudança no setor produtor de cana, isto é, o rápido avanço na colheita mecanizada. Ainda assim, os ganhos de produtividade da produção de etanol em toda a cadeia de produção são responsáveis pela volta das reduções desse indicador. De todo modo, a substituição de gasolina por etanol de cana no Brasil reduz as emissões sempre em torno de 90%. Destaca-se que o aumento expressivo da geração de excedentes de eletricidade a partir do bagaço, que podem deslocar a expansão marginal da geração de eletricidade a partir do gás natural, trazem, também, reduções expressivas de gases de efeito estufa, e que, nesse trabalho, não foram atribuídas à produção de etanol.

É importante salientar que todos os indicadores estimados nessa seção foram quantificados usando-se um modelo de insumo-produto, cujos coeficientes técnicos são calculados a partir de transações mensuradas em valores monetários; desse modo, distorções referentes às mudanças de preços relativos podem ocorrer nesse tipo de análise, particularmente, àquelas mudanças de preços dos energéticos. Nesse sentido, é desejável realizar uma nova estimativa dos indicadores apresentados usando-se um modelo híbrido de insumo-produto, que consiste no uso de transações mensuradas em unidades energéticas para os setores energéticos.

## **2.6 Perspectivas de redução de emissões dos poluentes não GEE pelos veículos a etanol (E25, E100 e flex) nas grandes cidades brasileiras<sup>49</sup>**

### **2.6.1 Introdução**

A conscientização dos efeitos negativos das emissões veiculares começou a influenciar os legisladores e órgãos ambientais dos EUA já no final da década de 1960; a grande frota de veículos automotores daquele país explica sua liderança

---

<sup>49</sup> Pesquisador responsável: Manoel Regis Lima Verde Leal (CTBE – Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol).

nas medidas tomadas, visando o controle das emissões veiculares, tendo a Califórnia assumido as iniciativas mais radicais. O primeiro Clean Air Act foi promulgado em 1963, mas ainda não externava este tipo de preocupação. Foi o Clean Air Act Emendment, de 1970, que primeiro determinou medidas concretas e eficazes para controlar as emissões veiculares, entre outras. A Environmental Protection Agency (EPA) foi criada e recebeu a incumbência de desenvolver e fazer cumprir regulamentos e padrões de emissões e de combustíveis. Duas áreas foram consideradas prioritárias: a redução das emissões de CO e dos precursores de formação de ozônio troposférico (NOx e hidrocarbonetos); o SO<sub>2</sub>, que juntamente com o NOx, é um dos formadores da chuva ácida, e o material particulado fino (menor que 10 micra, sendo o menor que 2,5 micra capaz de chegar às regiões mais profundas dos pulmões) também mereceram atenção.

O aquecimento global já surgia como uma preocupação, mas de menor importância. O CO era um problema causado pela partida a frio e fase fria do motor, principalmente nas cidades situadas em altitudes elevadas, como Denver, e causa perda da capacidade do sangue transportar oxigênio, perda de reflexos e de acuidade visual. O ozônio e os materiais particulados (fuligem), juntamente com a umidade condensada, são os principais causadores do "smog" que provoca sérios problemas de visibilidade para os motoristas; além disso, o ozônio irrita as vias respiratórias, chegando a provocar crises de asma, e o material particulado fino (principalmente os componentes abaixo de 2,5 micra) penetram profundamente nos pulmões causando danos permanentes sérios.

O Clean Air Act Amendment, de 1990, trouxe requisitos adicionais para o controle de emissões veiculares, entre elas a determinação do uso de Gasolina Oxigenada (oxygenated gasoline) nas regiões com níveis de CO acima do limite estipulado, e de Gasolina Reformulada (reformulated gasoline) nas regiões com níveis de ozônio acima do limite. A oxigenação da gasolina permitia o uso de etanol, MTBE e ETBE como os oxigenantes preferidos; a gasolina reformulada tem sua composição controlada em alguns componentes, como olefinas e aromáticos. Por problemas de contaminação de lençol freático, o MTBE foi banido como oxigenante, o que aumentou consideravelmente o consumo de etanol nos EUA.

O Brasil passou a seguir os EUA na legislação de controle de emissões, com certa defasagem, para os veículos leves (ciclo Otto), e a Europa para as emissões de veículos pesados (ciclo Diesel). O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente, Lei Nº 6.938 de 31/08/1981) criou em 06/05/1986 o Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores (PROCONVE) visando a elaboração e acompanhamento dos padrões de emissões e qualidade dos combustíveis. A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, da SMA) até então liderava o controle de emissões veiculares em São Paulo e, indiretamente no país, continuando hoje a ter atuação significativa, uma vez que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a sede dos mais sérios problemas de poluição urbana; em 1995 a frota de veículos contribuía com 98% das emissões de CO, 97% das de HC's, 97% das de NOx, 85% das de SOx e 40% das de MP (MONTEIRO, 1998). Tanto a indústria automobilística como os fornecedores de combustíveis tiveram que se ajustar à regulamentação que foi paulatinamente apertando os limites de emissões. Os limites e os prazos de implantação foram acertados entre os vários stakeholders envolvidos.

Neste trabalho serão discutidos apenas os veículos leves a ciclo Otto, que são os principais usuários de etanol.

## 2.6.2 Legislações de Controle de Emissões Veiculares

### 2.6.2.1 Legislação americana

A legislação brasileira de controle de emissões de veículos automotores leves (Ciclo Otto) é baseada na legislação americana, utilizando, inclusive, a mesma metodologia de teste de certificação. O Federal Test Procedure FTP-75 é a norma básica americana utilizada nos testes de emissões veiculares (Figura 102); através de um dinamômetro de chassi (Figura 103) é simulada uma viagem diária média, representativa dos hábitos americanos, utilizando-se o veículo completo e não apenas o motor. Desta forma, o teste é realizado em condições dinâmicas da forma de dirigir (partidas, paradas, acelerações) e do conjunto veículo-motor (peso, inércia, características do motor, etc.), sendo dividido em três fases distintas (Figura 102), com duração total de 1.874 segundos, distância percorrida de 17,77 km (11,04 milhas) e uma velocidade média de 34,1 km/h (21,2 milhas/h):

- Partida a frio: é a fase mais crítica, principalmente para o etanol, uma vez que o motor ainda está frio, o que dificulta a queima do combustível e aumenta as emissões de CO e hidrocarbonetos (HC), principalmente. A duração desta fase é de 505 segundos.
- Fase transiente: são simuladas várias paradas e partidas, com poucos percursos de velocidades mais ou menos constantes. Dura 864 segundos.
- Partida a quente: esta fase simula a partida do veículo ainda quente, correspondendo ao trajeto de retorno. Tem duração também de 505 segundos.

A Figura 102 mostra a dinâmica destas três fases.

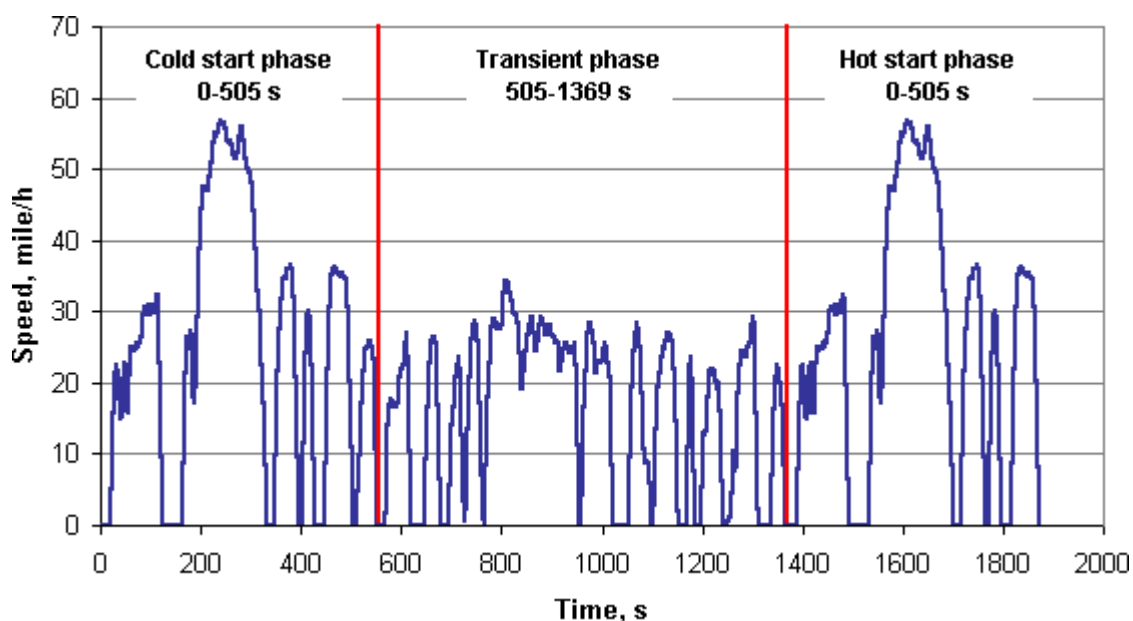
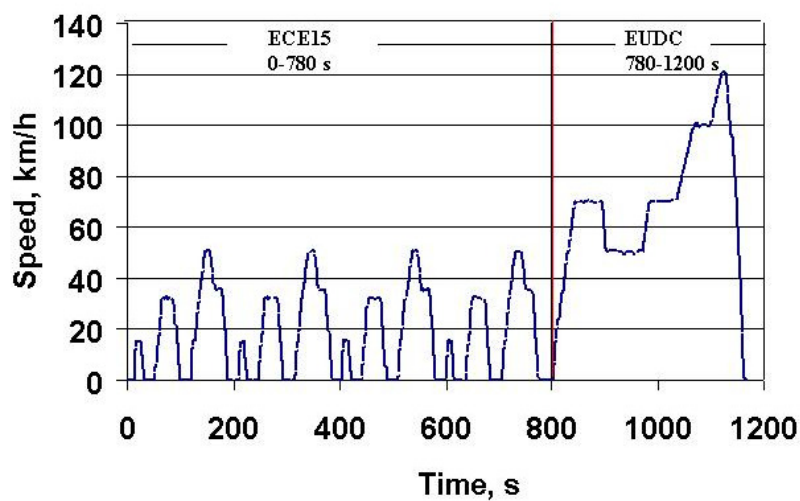


Figura 102 - Ciclo de Teste segundo o FTP-75



**Figura 103 - Veículo em teste no dinamômetro de chassi**



**Figura 104 - Ciclo de teste segundo a norma européia**

A norma européia é semelhante à americana, porém com um ciclo diferente, pretendendo simular melhor as condições de tráfego europeu (Figura 104).

As emissões de cada fase são coletadas em sacos de teflon específicos, analisadas independentemente (resultados convertidos em g de poluente/milha, ou g/km); as emissões de cada um dos sacos são multiplicadas por pesos (0,43 para a partida a frio, 1,0 para a fase transiente e 0,57 para a partida a quente).

Os limites de emissões estabelecidos pela EPA foram sendo apertados paulatinamente até chegar ao Tier 2 Regulations em dezembro de 1999, que teve um período de implantação de 2004 a 2009. Esta nova regulamentação tem alguns pontos importantes em relação à anterior (Tier 1):

- Os limites independem do combustível (diesel ou gasolina).
- Devem ser atendidos pelos veículos com até 120.000 milhas (193.000 km) de uso.
- Veículos com peso até 8.000 lb (3.600 kg) são considerados leves.

A Tabela 74 mostra o cronograma de implementação do Tier 2 da EPA para o NOx, no caso de veículos leves (automóveis e comerciais).

**Tabela 74 - Cronograma de implantações dos limites de NOx no Tier 2 para veículos leves**

Ano	Porcentagem de Phase in (%)	
	Íterim (0,3 g/mi), max.	Tier 2 ( 0,07 g/mi), min
2004	75	25
2005	50	50
2006	25	75
2007	0	100
2008	0	100
2009	0	100

Fonte: EPA, 2010

Na tabela acima, os valores de limite de emissões do NOx correspondem à média da frota vendida no ano. Por exemplo, para 2004 no Tier 2, pelo menos 25% dos novos veículos leves devem ter emissões de NOx abaixo de 0,07 g/mi; no caso do Limite Íterim no máximo 75% dos novos veículos leves podem atender ao limite de 0,30 g/mi de NOx. A partir de 2007 100% dos veículos leves novos deverão atender o limite de 0,07 g/mi. Não está mostrado na Tabela 74, mas os veículos pesados (heavy light duty trucks) devem chegar a 100% de atendimento ao Tier 2 somente em 2009.

Os limites de emissões que definem as oito classes de veículos leves que comporão a frota de veículos novos estão mostrados na Tabela 75.

**Tabela 75 - Limites de emissões para veículos leves com até 120.000 milhas de uso, no Tier 2**

Nível de certificação	NMHC (g/mi)	CO (g/mi)	NOx (g/mi)
Bin 1	0,0	0,0	0,0
Bin 2	0,010	2,1	0,02
Bin 3	0,055	2,1	0,03
Bin 4	0,070	2,1	0,04
Bin 5	0,090	4,2	0,07
Bin 6	0,090	4,2	0,10
Bin 7	0,090	4,2	0,15
Bin 8	0,125	4,2	0,20

Fonte: EPA, 2010

A EPA incluiu também limite para o teor de enxofre na gasolina no valor de 30 ppm médio a ser implementado a partir de 2005 (phase in).

Os fabricantes de veículos têm liberdade de escolher a composição da frota de veículos novos que serão oferecidos ao mercado de modo que na média sejam satisfeitos os limites do Tier 2 ou, alternativamente, os limites íterim.

### 2.6.2.2 Legislação brasileira

Com a criação do Proconve em 1986, o controle de emissões veiculares passaram a ter uma dimensão nacional. Até então a CETESB era quem estabelecia os limites e controlava as emissões dentro do estado de São Paulo, já que a cidade de São Paulo era a mais atingida pelas emissões veiculares.

Os objetivos do Proconve eram (Barros, 2006):

- Reduzir os níveis de emissões de poluentes por veículos automotores;
- Promover o desenvolvimento tecnológico;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos em uso;
- Melhoria dos combustíveis;
- Promover a conscientização da população sobre poluição do ar por veículos automotores;
- Estabelecer medidas de avaliação dos resultados alcançados.

A evolução dos limites de emissões veiculares estabelecida pelo Proconve está mostrada na Tabela 76.

**Tabela 76 - Evolução dos limites de emissões dos veículos leves no Proconve**

Classe	Ano	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	Aldeídos (g/km) <sup>4</sup>
L-1	1988	24	2,10	2,00	-
L-2	1992	12	1,20	1,40	0,15
L-3	1997	2	0,30	0,60	0,03
L-4	2005 <sup>1</sup>	2	0,16 <sup>2</sup>	0,25	0,03
L-5	2009	2	0,05	0,12	0,02
L-6	2013 <sup>3</sup>	1,3	0,05	0,08	0,02

Fonte: Joseph Jr, 2009

Notas:

1. Introdução progressiva: 2005 40%, 2006 70% e 2007 100%.

2. A partir de 2005 o metano passou a ser excluído dos HC's (ficou NMHC).

3. Introdução progressiva: 2013 ciclo Diesel leves, 2014 ciclo Otto novos, 2015 100% do ciclo Otto.

4. Aldeídos totais.

Pode ser visto na Tabela 76 que as reduções nos limites de emissões foram drásticas do L-1 ao L-6 (95% no CO, 98% no HC, 96% no NOx e 87% nos aldeídos totais). Regiões altamente poluídas como a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram altamente beneficiadas pelo Proconve; Barros (2006) estima que as reduções da carga total dos principais poluentes veiculares serão de 50 a 65% menores em 2010 devido ao Proconve, apesar do aumento considerável da frota.

## 2.6.3 Avanços Tecnológicos nos Veículos Leves Devido à Legislação Ambiental

### 2.6.3.1 O passado

O aperto nos limites de emissões veiculares levou a uma significativa melhoria na tecnologia dos veículos leves e pesados, que trouxe outros benefícios como melhoria na dirigibilidade, no consumo de combustível e na confiabilidade dos motores. Até o momento, as principais melhorias tecnológicas forçadas pela legislação ambiental foram a injeção e ignição eletrônica, o *canister* e o conversor catalítico de três vias com sonda lâmbda. As melhorias da eletrônica foram sendo paulatinamente incorporadas aos sistemas de injeção e controle de ignição possibilitando os ganhos progressivos obtidos. No Brasil, estas tecnologias foram sendo introduzidas e melhoradas a partir de 1992 (injeção monoponto e/ou conversor catalítico) sendo consolidadas em 1997 (injeção multiponto e conversor catalítico de três vias). Neste período de 1992 até o presente, os sistemas de injeção de combustível e controle de ignição foram otimizados, dentro da filosofia de cada empresa, buscando soluções de compromisso entre desempenho, economia de combustível e emissões. O catalisador de três vias tem a difícil missão de oxidar os HC's, CO e aldeídos, ao mesmo tempo em que reduz o NOx, exigindo que o motor opere próximo das condições estequiométricas da mistura ar/combustível ( $\lambda=1$ ), tirando a flexibilidade de se variar esta relação para se beneficiar dos ganhos de potência com a mistura rica e ganhos de economia com a mistura mais pobre. Motores que trabalhavam com misturas muito pobres (lâmbdas até 1,4) possíveis com o etanol estavam sendo desenvolvidos com um grande potencial de economia de combustível, mas foram abandonados devido às dificuldades de se atingirem os limites de NOx exigidos pela legislação.

Do ponto de vista do etanol é importante se ter em mente que a frota de veículos deste combustível deve representar hoje de 2 a 3% da frota mundial. Desta forma, os investimentos em desenvolvimento são quase totalmente voltados para os motores a gasolina e com isso se perde a oportunidade de se levar vantagem das características favoráveis do etanol como combustível de ciclo Otto, cujas principais são: alta octanagem, elevado calor de vaporização, queima mais rápida e mais fria, ausência de enxofre e propriedades físico-químicas mais bem definidas.

Uma análise rápida e simplificada é apresentada a seguir dos impactos do etanol (puro ou em mistura) nas emissões de veículos de ciclo Otto. É importante lembrar que a injeção eletrônica e o catalisador combinados permitem, com a tecnologia e os limites de emissões de hoje, atender a legislação de emissões igualmente bem com gasolina e etanol. Os poluentes considerados na legislação americana são o CO, HC's (sem metano), NOx, aldeídos totais e material particulado (PM<sub>2.5</sub>); também as substâncias tóxicas (benzeno, 1,3-butadieno, acroleína, compostos aromáticos policíclicos, aldeídos) são monitoradas e avaliadas apesar de não constarem dos emissões controladas por lei. No Brasil, Proconve controla CO, HC's (sem metano), NOx, aldeídos e material particulado; as preocupações extras estão voltadas para os SOx, metais pesados. Em ambas as legislações uma grande preocupação é com o ozônio troposférico (baixa altitude) que não sai diretamente dos escapamentos dos veículos, mas sim como resultado de reações fotoquímicas dos chamados precursores de ozônio que são os HC's e NOx.

- CO

Um dos primeiros incentivos ao uso de etanol misturado à gasolina foi o potencial de redução de emissões de CO, principalmente em regiões da grande altitude onde os motores carburados operavam com mistura rica de ar/combustível, devido à menor densidade do ar. O etanol tem aproximadamente 35% de seu peso em oxigênio o que favorece a combustão completa; além disso, o etanol, por queimar melhor, permitia o uso de misturas mais pobres, reduzindo ainda mais a produção de CO. Whitten and Cohen (1996), realizaram uma análise estatística dos níveis de CO na atmosfera, em áreas onde se utilizavam combustíveis oxigenados, que indicou uma possível redução de 14% na concentração de CO local, como uma média nacional. Como este efeito redutor de CO do etanol é mais pronunciado nos veículos mais emissores o resultado em regiões onde há uma parcela razoável de veículos velhos será mais percebido em termos de concentrações de CO na atmosfera. Whitten (2006) demonstrou que a redução de emissões de CO pelo uso de E10 resulta também em redução dos níveis de VOC (HC), procurando mostrar que o efeito líquido entre a redução de emissões de VOC pelo escapamento dos veículos automotores ciclo Otto e o aumento das emissões evaporativas provocadas pelo aumento da pressão de vapor da gasolina com a adição de etanol é uma redução de VOC; a mensagem era destinada ao Air Resources Board (ARB) da Califórnia que havia assumido posição contrária na definição da gasolina reformulada para a Califórnia (5,7% etanol apenas). As condições atmosféricas no inverno, devido à menor capacidade de dispersão de poluentes, implicam em um maior impacto das emissões veiculares de CO no nível de concentração deste poluente na atmosfera.

- NOx

Os óxidos de nitrogênio são formados no processo de combustão, sendo que uma parte vem do nitrogênio existente no ar de combustão e a outra parte do nitrogênio existente no combustível (esta parte não existe para o etanol). Quanto mais elevada é a temperatura de combustão maior é a formação de NOx; as queimas de misturas pobres (excesso de ar de combustão) também induzem uma maior produção destes óxidos. Os combustíveis oxigenados tendem a produzir mais NOx do que as gasolinas puras, mas é um efeito pequeno e talvez explicado pela capacidade de empobrecimento das misturas pela presença do oxigênio na molécula. Os NOx na atmosfera podem se dissolverem no vapor de água e formarem ácido nítrico, um componente da chuva ácida, e também nitratos que podem se converter em materiais particulados. Todavia, a maior contribuição dos NOx para a poluição atmosférica é com a formação de ozônio nas baixas altitudes.

- Ozônio

A formação do ozônio em regiões urbanas resulta de reações fotoquímicas muito complexas entre compostos voláteis de carbono, incluindo CO, na presença de NOx (poluente secundário). Assim, a propriedade do etanol reduzir as emissões de CO e HC's, quando usado em misturas com a gasolina, deve ser pesada em comparação com o aumento das emissões evaporativas devido ao aumento da pressão de vapor do combustível oxigenado. Dependendo dos níveis de concentração dos HC's e de NOx a importância relativa de cada um na formação de ozônio varia. As condições atmosféricas e de insolação favorecem a formação de ozônio principalmente na primavera e verão.



- Material Particulado (MP)

A legislação americana foca principalmente no material particulado de diâmetro aparente inferior a 2,5 micra, pela capacidade destas partículas atingirem as regiões mais profundas dos pulmões e provocar danos sérios na saúde das pessoas expostas. O Proconve optou por focar nas partículas em suspensão com diâmetros aparentes inferiores a 10 micra. Nos veículos a gasolina o MP é formado principalmente de compostos pesados (ponto de ebulição acima de 100 °C) não queimados, o que é inexistente no caso do etanol puro; outra parte do MP suspenso na atmosfera é formado por reações secundárias dos NOx e SOx com a umidade do ar resultando em nitratos e sulfatos na forma de sólidos finos. Os pneus dos veículos são outra fonte importante de MP.

- SOx

Na legislação americana de controle de emissões o SOx não aparece em muita evidência pelo sucesso dos USA em reduzir drasticamente o nível de enxofre no diesel (em alguns casos até 1 ppm) e na gasolina (30 ppm), o que não aconteceu ainda no Brasil onde o diesel ainda tem de 500 a 1800 ppm (será reduzido para 10 ppm na Fase P-7 do Proconve) e a gasolina 1000 ppm (será reduzida para 50 ppm na Fase L-6 do Proconve). Desta forma as emissões de SOx são controlada fora da norma devido a sua importância na chuva ácida e formação secundária de MP.

As evoluções dos limites de enxofre no óleo diesel e na gasolina estão mostradas nas Tabela 77 e Tabela 78, respectivamente.

**Tabela 77 - Teor de enxofre no óleo diesel**

<b>Data</b>	<b>Legislação</b>	<b>Enxofre máximo, ppm</b>			
29.11.1955	Resolução CNP n° 5	10.000			
12.03.1963	Resolução CNP n° 3	10.000			
09.03.1976	Resolução CNP n° 4	13.000 (*)			
22.01.1980	Resolução CNP n° 7	13.000 (*)			
20.12.1993	Portaria DNC n° 28	A	B	D	
		10.000	5.000	10.000	
23.03.1996	Portaria DNC n° 9	A	B	C	D
		10.000	5.000	3.000	10.000
04.08.1997	Portaria DNC n° 32	A	B	C	D
		10.000	5.000	3.000	2.000
27.12.2001	Portaria ANP n° 310	Metropolitano 2.000		Interior 3.500	
22.03.2005	Portaria ANP n° 310 (Resolução ANP n°12)	S500 500	Metropolitano 2.000	Interior 3.500	
17.07.2006	Resolução ANP n°15	Metropolitano		Interior	
		500		2.000	
16.10.2007	Resolução ANP n° 32	50 (Fase P6 – S50)			
24.12.2008	Resolução ANP n° 15 (Resolução ANP n° 41)	Metropolitano		Interior	
		500		1800	
14.10.2009	Resolução ANP n° 31	10 (Fase P7-S10)			
16.12.2009	Resolução ANP n° 42	Óleo diesel A/B S50	Óleo diesel A/B S50	Óleo diesel A/B S1800	
		50	500	1800	

(\*) Flexibilizado provisoriamente tendo em vista a crise do petróleo de1973 e a necessidade de garantir o abastecimento nacional.

Fonte: CETESB, 2009

**Tabela 78 - Teor de enxofre da gasolina**

<b>Data</b>	<b>Legislação</b>	<b>Enxofre, máximo, (ppm) – Gasolina Tipo C</b>	
04.09.1979	Resolução CNP n° 14	2500	
30.11.1982	Resolução CNP n° 15	2500	
17.11.1994	Portaria DNC n° 43	2000	
20.5.1998	Portaria ANP n° 71	Comum	Premium
		1500	1000
28.12.1999	Portaria ANP n° 197	1000	
21.08.2001	Portaria ANP n° 197 (Portaria ANP n° 204)	1000	
27.12.2001	Portaria ANP n° 309	1000	
14.09.2009	Resolução ANP n° 38	50 (Fase L6)	

Fonte: CETESB, 2009

- Substâncias tóxicas

Algumas substâncias existentes nos gases de escapamento dos veículos automotores são altamente tóxicas, cancerígenas ou mutagênicas. Estes produtos apesar de não serem especificados nas normas de limites de emissões, por seus impactos fortemente negativos na saúde humana, eles são, de certa forma, monitorados e controlados. Os principais poluentes desta categoria são o benzeno, o 1,3-butadieno, a acroleína, a matéria orgânica policíclica, o naftaleno, o formaldeído e o acetoaldeído (EPA, 2009).

O benzeno é provavelmente o mais importante destes poluentes pela sua toxidez e poder carcinogênico (causa leucemia) e mutagênico, assim como pela quantidade nas emissões comparada aos outros compostos tóxicos. Ele aparece na composição das gasolinas em percentagem variada, mas normalmente acima de 5%. A adição de etanol à gasolina reduz as emissões de benzeno de duas formas: por diluição e por possibilitar o uso de gasolinas de base com menores teores de benzeno, que é um dos principais elevadores do índice de octano das gasolinas (juntamente com o xileno e o tolueno, também com toxidez semelhante à do benzeno); o benzeno é também um produto da combustão de outros aromáticos e como a adição de etanol permite reduzir o teor de aromáticos da gasolina de base possibilita mais um nível de redução deste poluente (WHITTEN, 2001). Outro ponto importante é que o etanol na gasolina reduz as emissões de VOC's (HC's) e o benzeno é um dos componentes importantes desta família. Os veículos a etanol puro não emitem benzeno.

O 1,3-butadieno é também um composto carcinogênico por inalação. Os dados de experimentos clínicos ainda são insuficientes para concluir toda a extensão dos impactos negativos deste produto na saúde humana, apesar dos efeitos já conhecidos serem suficientes para categorizá-lo como carcinogênico. A adição de etanol à gasolina reduz a emissão de 1,3-butadieno por diluição e por reduzir os HC's de um modo geral. Os veículos a etanol puro também não emitem este poluente.

A acroleína ainda não tem sua qualificação como produto cancerígeno totalmente comprovada, apesar das fortes indicações já observadas. Todavia, ela é extremamente irritante para o trato respiratório quando inalada por pessoas expostas e também para a mucosa dos olhos e do nariz. Estes sintomas aparecem com exposição de apenas cinco minutos e em concentrações tão baixas quanto 0,09 ppm.

A matéria orgânica policíclica é uma classe de poluentes com muitos membros dos quais os mais importantes são o hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH em inglês). Um grande número de PAH's são supostamente cancerígenos e estudos clínicos recentes indicaram efeitos adversos sérios em mulheres grávidas. Mais estudos e avaliações ainda são necessários para se determinar com mais confiança todos os impactos negativos destes compostos na saúde humana.

O naftaleno existe na gasolina em pequenas quantidades, mas seus teores nas emissões de escapamento indicam que ele é formado como um dos produtos da combustão. Os estudos já realizados levaram à sua classificação como substância possivelmente carcinogênica para seres humanos. Os estudos prosseguem para se conhecer melhor os impactos deletérios do naftaleno na saúde humana.

Os aldeídos são produtos da combustão incompleta dos alcoóis e hidrocarbonetos, sendo os principais o formaldeído e o acetoaldeído. Como as emissões de aldeídos dos motores a álcool (misturado com a gasolina ou puro) são maiores que as produzidas nos motores a gasolina este fato tem sido usado para atacar os alcoóis como combustíveis, normalmente sem mencionar três pontos importantes: as emissões de aldeídos são muito menores que as dos outros poluentes (CO, HC e NOx – ver Tabela 76); as emissões de outras substâncias tóxicas, mais danosas à saúde humana que os aldeídos como o benzeno, 1,3-butadieno, SOx, naftaleno e MP, são sensivelmente maiores nos motores a gasolina que nos motores a álcool; a maior parte das emissões de aldeídos dos motores a etanol são na forma de acetoaldeído, bem menos reativo na atmosfera e agressivo à saúde humana que o formaldeído produzido nos motores a gasolina, ainda que em quantidades menores. A Tabela 79 ilustra este último ponto.

**Tabela 79 - Características de toxidez e reatividade dos aldeídos**

Parâmetro	Formaldeído	Acetoaldeído
Reatividade fotoquímica incremental máxima (gO <sub>3</sub> / g substância)	6,2	3,8
Limite de exposição ocupacional (ppm)	2,0	100,0

Fonte: Szwarc, 2009

Da Tabela 79 acima pode ser visto que o valor da concentração de formaldeído no ambiente que é considerada como risco ocupacional é 50 vezes menor que o valor correspondente ao acetoaldeído. Assim, considerando os índices de emissões médias dos veículos flex fuel em 2006 que foram 0,014 g/km com etanol e 0,003 com gasolina C, e verificando que o primeiro é menos de cinco vezes o segundo, não se pode afirmar que as emissões de aldeídos dos veículos flex fuel com etanol são mais danosas à saúde humana que quando usa gasolina. Szwarc também fornece evidências de que emissões de aldeídos de outros combustíveis, como o gás natural e o diesel, são tão, ou mais importantes que as do etanol.

### **2.6.3.2 O Presente**

A legislação de controle de emissões veiculares teve uma rápida evolução do passado recente, induzindo várias melhorias tecnológicas nos motores, particularmente nos de ciclo Otto. Injeção e ignição eletrônica, catalisador de três vias com sonda lambda, mapas de desempenho de motores e otimização de desempenho (potência/torque, consumo de combustível e emissões) levaram a tecnologia de motores para o ponto onde eles são baratos, medianamente eficientes e confiáveis. A legislação americana permite que a frota seja composta de veículos de vários tipos e tecnologias (ver Tabela 75), mas exige que na média sejam atendidos os limites de emissões, flexibilizando para permitir uma otimização econômica da frota veicular.

Como os aspectos econômicos sempre têm um peso significativo nas escolhas de tecnologias, para se exigir um aperto maior ainda nos limites de emissões seria necessário haver justificativas dos impactos da poluição atmosférica na saúde da população, inclusive os econômicos. Esta tarefa não é simples, pois envolve opiniões pessoais, necessita de dados confiáveis e metodologia clara e defensável para processar estes dados. A equipe do Laboratório de Poluição da Faculdade de Medicina da USP liderada pelo Prof. Paulo Saldiva tem trabalhado nesta área há

vários anos e, recentemente, publicou os resultados dos impactos de dois poluentes principais (MP e ozônio) na saúde da população da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), inclusive com avaliações econômicas (SALDIVA et al., 2009). A metodologia utilizada e as fontes de dados empregados estão cuidadosamente caracterizadas no trabalho. As Tabela 80, Tabela 81 e Tabela 82, apresentam um grande resumo dos impactos para diferentes situações de uso de combustíveis na frota veicular, para mostrar os efeitos benéficos do etanol na RMSP.

**Tabela 80 - Substituição de diesel por etanol na frota cativa de ônibus na região metropolitana de São Paulo**

Cenários de substituição (em %)	Morbidade		Mortalidade		Total redução gastos (em US\$ milhões)
	(redução no número de internações)*	Redução do gasto (em US\$ milhões)	(redução)	(em US\$ milhões)	
5	224	0,63	37	6,63	7,26
10	450	1,26	75	13,45	14,71
15	675	1,89	112	20,08	21,97
50	2.270	6,38	373	66,89	73,27
100	4.588	12,86	745	133,60	146,46

\* Consideradas as internações pelo SUS e na rede privada.

**Tabela 81 - Substituição de gasolina por etanol na frota de veículos leves da região metropolitana de São Paulo**

Cenários de substituição (em %)	Morbidade		Mortalidade		Total redução gastos (em US\$ milhões)
	(redução no número de internações)*	Redução do gasto (em US\$ milhões)	(redução)	(em US\$ milhões)	
5	398	0,98	6	1,07	2,05
10	795	1,96	13	2,33	4,29
15	1.193	2,95	19	3,40	6,35
100	8.002	19,79	130	23,31	43,10

\* Consideradas as internações pelo SUS e na rede privada.

**Tabela 82 - Substituição de etanol por gasolina (redução de etanol)**

Cenários de substituição (em %)	Morbidade		Mortalidade		Total aumento gastos (em US\$ milhões)
	(aumento no número de internações)*	Aumento do gasto (em US\$ milhões)	(aumento)	(em US\$ milhões)	
Somente E-22** (sem carros flex)	16.850	41,68	273	48,95	90,63
Carros 100% a gasolina	25.680	63,53	416	74,60	138,13

\* Consideradas as internações pelo SUS e na rede privada. \*\* Gasolina aditivada com 22% de etanol, de acordo com a legislação vigente no país

Fonte: projeções dos professores Paulo Saldiva, Maria de Fatima Andrade, Simone Miragliaia e Paulo André.

Apesar de se tratar de um exercício acadêmico, o trabalho é muito rico em informações e traz uma metodologia clara, que poderia servir de base para outros estudos. As vantagens ambientais do etanol estão apresentadas de forma realmente impactante e podem servir de base para discussões de políticas públicas relacionadas à poluição atmosférica. Simulações para outras cidades com problemas de poluição atmosférica podem ser executadas com a mesma metodologia.

### 2.6.3.3 O Futuro

As tecnologias de motores para veículos automotivos, de controle de emissões e de combustíveis estão próximas de seus limites de ganhos incrementais. Principalmente no caso dos motores, mudanças mais profundas terão repercussões econômicas significativas e o sucesso comercial das novas tecnologias vai necessitar uma conscientização muito grande da população para aceitar mudanças de hábitos, aumento de custos de locomoção e investimentos maiores em transporte pessoal. As vantagens ambientais dos biocombustíveis têm sido muito questionadas nos âmbitos das emissões de GEE no ciclo de vida e nos reais

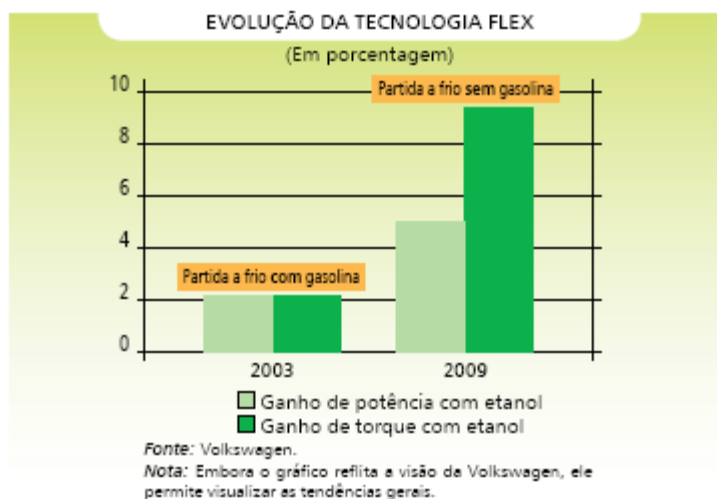
benefícios na poluição atmosférica. No desenvolvimento tecnológico para o controle de emissões o conjunto motor/combustível/dispositivos de redução de emissões tem que ser tratado, e de fato tem sido, como um bloco. Desta forma, os combustíveis fósseis têm sido favorecidos, pois representam quase 98% dos combustíveis veiculares. Desenvolvimentos tecnológicos de motores e equipamentos de controle de emissões para biocombustíveis têm sido raros e menos significantes. Mesmo no Brasil, os desenvolvimentos direcionados para motores a ciclo Otto a gasolina têm sido substancialmente superiores aos motores a etanol. Uma prova disto é o veículo flex fuel que quando foi lançado em 2003 era totalmente baseado no motor a gasolina adaptado para funcionar com etanol; até hoje os motores flex fuel não tiram todo o proveito das vantagens do etanol em relação à gasolina no ciclo Otto (maior octanagem e calor de vaporização, combustão mais rápida e mais fria). A Tabela 83 mostra a evolução da tecnologia no Brasil indicando a evolução lenta na direção da otimização para o etanol, já que este combustível é usado em aproximadamente 70% da frota flex fuel. Existem motores flex fuel mais sofisticados já desenvolvidos para etanol, com significativas vantagens para este combustível em relação à gasolina, como veremos mais adiante.

**Tabela 83 - Evolução da tecnologia flex fuel no Brasil**

Geração	A venda desde	Taxa de compressão do motor	Potência do motor com etanol	Torque	Quilometragem com etanol	Gasolina na partida a frio
1ª	2003	10,1-10,8	+ 2,1%	+2,1%	- 25 a 35%	Sim
2ª	2006	10,8-13,0	+4,4%	+3,2%	- 25 a 35%	Sim
3ª	2008	11,0-13,0	+5,6%	+9,3%	-25 a 30%	Sim
4ª	2009	11,0-13,0	+5,6%	+9,3%	-25 a 30%	Não

Fonte: Joseph Jr, H., Ethanol Summit 2009, em Nigro, F.E.B., 2009

Na Tabela 83 é possível de observar a evolução do motor flex fuel no Brasil a partir de uma concepção otimizada para gasolina na direção de uma versão mais adaptada para o etanol, com maiores taxas de compressão e sensíveis ganhos em potência e torque; a melhoria do consumo de combustível com etanol está também ocorrendo, mas de forma mais lenta. As melhorias na partida a frio elevarão as vantagens do etanol nos veículos flex a outro patamar, pois atacam o calcanhar de Aquiles do etanol nestes veículos que é a fase fria, em termos de desempenho e emissões como mostra a Figura 105 (Nigro e Szwarc, 2009)



**Figura 105 - Evolução tecnológica da tecnologia flex fuel**

De um modo geral, pode ser afirmado que os motores a combustão interna (IC), tanto com ignição por centelha (SI – ciclo Otto) como por compressão (CI – ciclo Diesel), tem sido a escolha universal para movimentação dos veículos que compõem a frota mundial. Este panorama deverá permanecer ainda por algumas décadas antes que tecnologias ainda em desenvolvimento, como o carro elétrico (EV) e o carro a célula de combustível (FCV), venham a assumir uma participação significativa na frota mundial. Nos últimos 20 a 30 anos a grande foco do desenvolvimento dos motores veiculares foi prioritariamente na redução de emissões, considerando sempre o conjunto combustível/motores/sistema de pós-tratamento (catalisador). O resultado deste desenvolvimento foi uma família de motores de bom desempenho (potência, torque e consumo), com reduções drásticas nas emissões de escapamento (mais de 95% desde os anos 1980s), e com um custo de produção bem aceitável. Considerando as legislações brasileira e americana de limite de emissões (Tabela 75 e Tabela 76) de uma forma resumida indicando as tendências no médio prazo (Tabela 84) é possível se observar semelhanças nos limites e uma diferença significativa na concepção: enquanto na norma brasileira todos veículos precisam obrigatoriamente atender os limites, na norma americana a frota de veículos novos pode ser composta de unidades que atendam a diferentes limites (Tier 2 de Bin 1 a B 8, na Tabela 75), mas a frota total de cada fabricante tem que atender a limites médios de forma ponderada; notar que o Bin 1 refere-se ao ZEV (zero emission vehicle) que possivelmente só possa ser o veículo elétrico (EV) ou talvez o veículo a célula a combustível a hidrogênio (FCV).

**Tabela 84 - Limites de emissões representativos das normas brasileira (Proconve) e americana (EPA) (g/km)**

Fase da norma	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	Aldeídos (g/km)
L-5 (2009) <sup>1</sup>	2,0	0,05	0,12	0,02
L-6 (2013/2015) <sup>1</sup>	1,3	0,05	0,08	0,02
Bin 5 <sup>2</sup>	2,6	0,06	0,04	-
Bin 2 <sup>2</sup>	1,3	0,06	0,01	-

Notas: <sup>1</sup>Proconve; <sup>2</sup>EPA (g/milha convertido em g/km)

É importante notar que o Bin 2 da EPA é, atualmente, o último estágio de tecnologia de redução de emissões veiculares antes do ZEV (veículos de emissões zero); a menos do caso do NOx, os limites do L-6 e Bin 2 são idênticos, sinalizando que o Brasil está atualizado e afinado com a norma da EPA.

Numa situação como a atual de massificação no uso de veículos pessoais, levando a frota mundial de veículos a se aproximar de um bilhão de unidades e produção anual em torno de 60 milhões de unidades, não é trivial se implantar melhorias drásticas em curto prazo, tanto na tecnologia veicular como nos combustíveis, que possam implicar em grandes mudanças na infraestrutura de abastecimento. Além disso, é de se esperar uma mudança radical do foco do desenvolvimento tecnológico do trio combustível/motor/pós-tratamento voltado para a redução de emissões de GEE por quilômetro rodado, pressionada pelas legislações americana e europeia que estabelecem reduções dessas emissões com um cronograma de médio prazo. A economia de combustível também será pressionada motivada pela necessidade de reduzir a dependência de petróleo. Neste aspecto os biocombustíveis podem prestar uma importante ajuda no atendimento dos novos limites, principalmente os que são eficientes na redução de GEE e de baixo custo de produção.

#### **2.6.3.4 Evolução tecnológica dos motores**

Existem várias tecnologias de motores veiculares em desenvolvimento, alguns representando ganhos incrementais e outras com mudanças mais radicais. Neste item serão discutidas apenas as aplicáveis aos veículos leves, pois não se espera que o etanol venha a participar de forma significativa como combustível de motores pesados (ciclo Diesel). Muitas tentativas foram feitas no passado e poucas sobreviveram, assim mesmo em pequenos nichos de aplicação, com é o caso dos motores Scania para ônibus urbanos, com cerca de 600 unidades em uso na Suécia e umas poucas em outros países.

A EPA (2009) desenvolveu estudos detalhados da introdução de várias tecnologias de redução de emissões de GEE e de consumo de combustível em vários tipos e modelos de veículos automotores, partindo de modelos de referência para cada caso. As principais tecnologias avaliadas foram divididas em quatro grupos: tecnologias de motor, tecnologias de transmissão, tecnologias dos acessórios e tecnologias do veículo.



- Tecnologias de motor

As principais foram:

Válvulas de admissão e escape: melhorias nos sistemas mecânicos de acionamento das válvulas, acionamento eletrônico das válvulas permitindo variação no tempo e área de abertura.

Perdas por atrito no motor: redução do atrito nos componentes do motor através de diminuição do tamanho do motor (com sobrealimentação), uso de lubrificantes especiais de baixo atrito, desativação de cilindros em baixas cargas.

Novas concepções de motores: injeção direta no cilindro em motores a gasolina, carga homogênea e ignição por compressão (HCCI - Homogenous Charge Compression Ignition para gasolina).

Novas concepções de sistemas de potência: veículos híbridos e veículos elétricos.

- Tecnologias de transmissão: partindo da transmissão hidráulica com quatro velocidades para frente como referência, as opções de cinco e seis velocidades para frente, transmissão com variação contínua, conversor de torque otimizado para baixas rpm's e embreagem dupla foram analisadas comparativamente com a referência.
- Tecnologias de acessórios: utilização de sistema elétrico de 42 V, motor de partida-gerador integrados, substituição da direção hidráulica por elétrica, eletrificação dos acessórios (bombas de água e de óleo, ventiladores, alternador de alta eficiência) foram as alternativas avaliadas.
- Tecnologias veiculares: apenas dois aspectos foram analisados nesta área, sendo um referente a melhorias na aerodinâmica dos veículos e ou outro relativo à redução do atrito dos pneus com o solo (resistência à rolagem).

Várias combinações de alternativas foram utilizadas na análise final do potencial de redução do consumo de combustível e das emissões de GEE e os investimentos necessários em cada uma. É importante notar que a soma dos benefícios de cada tecnologia avançada adotada não é igual ao benefício total do pacote tecnológico pelos impactos positivos e negativos de uma tecnologia nas outra(s). A análise foi muito extensa e muito detalhada nos aspectos técnicos e não há espaço para reproduzi-la totalmente aqui, cabendo apenas apontar alguns resultados mais importantes, considerando apenas os referentes aos veículos leves a ciclo Otto, que têm mais interesse para o Brasil (nível de investimento necessário foi dividido arbitrariamente pelo autor em três grupos: baixo, médio e alto)

O custo de investimento para algumas tecnologias de melhorias incrementais são muito baixo (muitos abaixo de US\$100/unidade) como são os casos de transmissões mais eficientes, pneus de baixo atrito, aerodinâmica de baixa resistência, sistema elétrico de 42 V e alta eficiência. Outra família de modificações tinha custos intermediários (entre US\$ 100 e US\$ 1000) como acionamento de válvulas de admissão e escape completamente variável (tempo e área de abertura), uso de superalimentação e redução de tamanhos do motor, injeção direta de gasolina nos cilindros e motor com carga homogênea e ignição por compressão (HCCI a gasolina). Finalmente, um terceiro grupo de tecnologias, representado pelas opções que requerem um alto investimento em relação à alternativa em uso hoje (acima

de US\$ 1000); as tecnologias representativas deste grupo são os veículos híbridos (HEV), híbrido com carga elétrica das baterias na rede (PHEV) e os veículos totalmente elétricos (EV). Um ponto importante a ser notado é que os veículos elétricos (EV) apresentam, nas condições de hoje e de curto prazo, investimentos acima do caso de referência muito elevados (em torno de US\$ 27000) e os híbridos estão em valores bem mais baixos (na faixa de US\$ 4000 a US\$ 7000), o que de certa forma explica o interesse crescente neste tipo de veículo nos últimos anos.

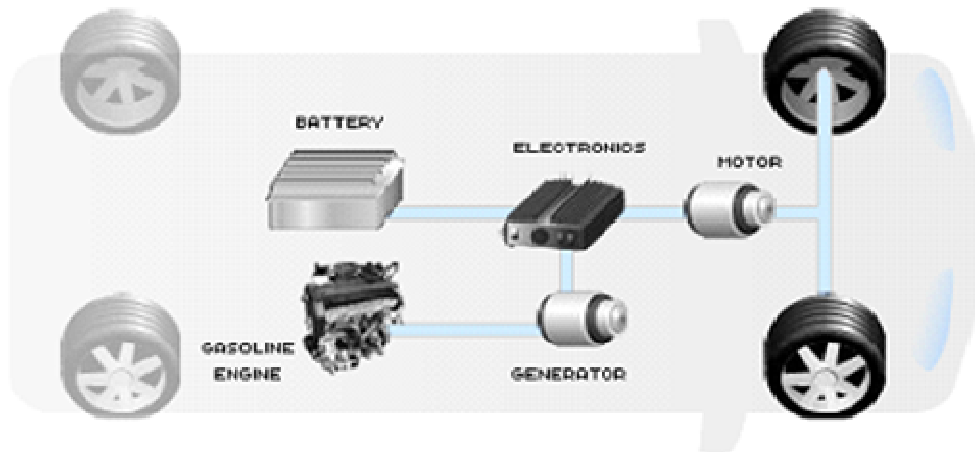
No aspecto dos benefícios esperados, redução do consumo de combustível e das emissões de GEE, os resultados são diferentes para as várias alternativas tecnológicas. As tecnologias de caráter mais incremental como redução do atrito no motor, válvulas de ação variável, desativação de cilindros e outras apresentaram reduções de emissões de GEE na faixa de 1 a 5%. Já as tecnologias de mudanças de conceito, como a injeção direta de gasolina com mistura pobre e o HCCI apresentaram um potencial de redução de emissões de GEE na faixa de 5 a 15%. Os veículos híbridos têm desempenhos na redução de emissões esperados da ordem de 30 a 40% de enquanto os veículos elétricos reduziram em 100% as emissões de GEE; nestes casos não estão consideradas as emissões de GEE na produção da eletricidade utilizada pelos veículos (EV e PHEV) porque depende da região onde seriam utilizados.

### **2.6.3.5 Veículos híbridos e elétricos**

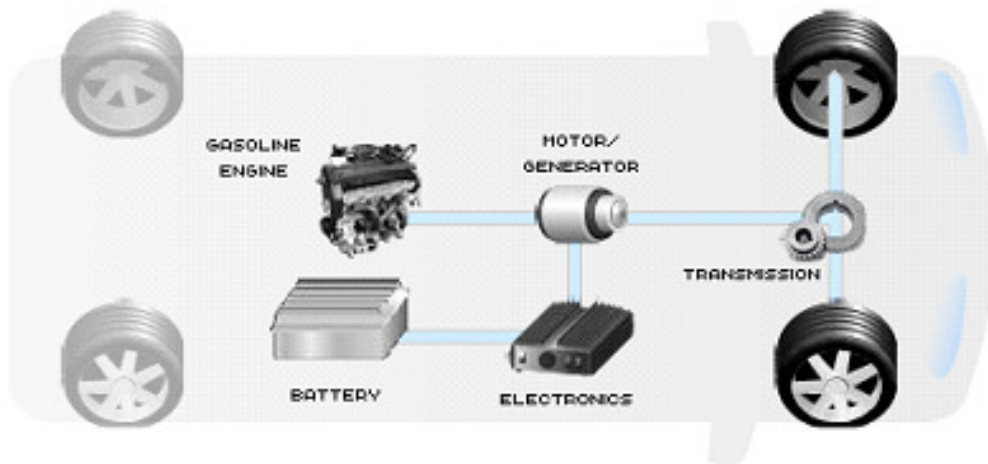
#### **Veículos híbridos**

Este tipo de tecnologia poderia ser considerado como uma forma de se passar gradualmente da tecnologia atual de motores a combustão interna para os veículos de acionamento totalmente elétrico. Todavia, o alto custo apresentado pela tecnologia de EV está indicando um espaço para as tecnologias alternativas durante um período razoavelmente longo, o que também explica o interesse crescente das principais montadoras de veículos automotores nos híbridos. O conceito não é novo já que ele foi introduzido por Ferdinand Porsche em 1990, porém as várias tentativas de torná-lo comercial em vários períodos ao longo de todo o Século XX fracassaram; apenas no final do século, com os lançamentos do Toyota Prius em 1997 e o Honda Insight em 1999, a tecnologia híbrida passou a ser uma opção real para os usuários de veículos automotores. Depois de um início lento, a oferta de modelos híbridos acelerou nos últimos anos, sendo que de 2005 até o presente momento foram lançados 24 novos modelos, muitos dos quais SUV's e utilitários leves. Os japoneses dominaram os primeiros lançamentos, mas praticamente todas as montadoras principais já oferecem opções nesta tecnologia, incluindo Mercedes e BMW. Até agosto de 2009 só a Toyota já havia atingido a marca de 2 milhões de veículos híbridos fabricados, dos quais 1,43 milhões são modelo Prius.

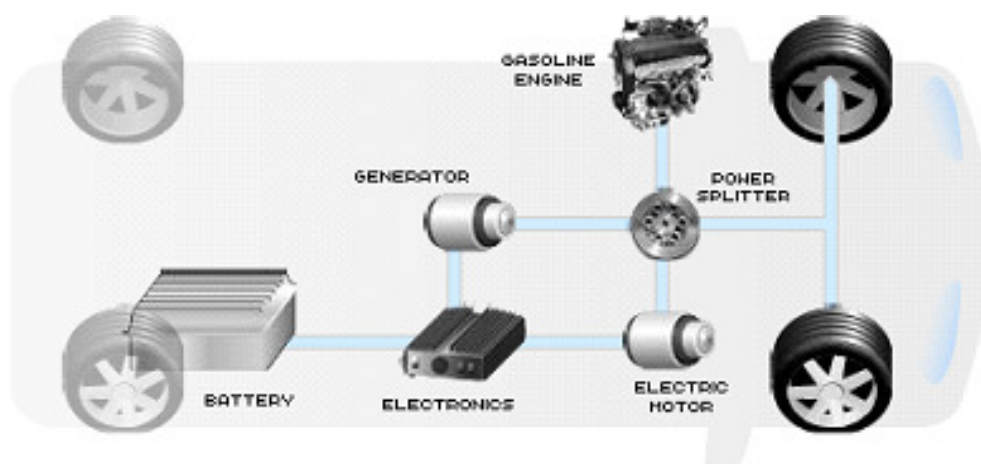
Os veículos híbridos são uma combinação de um sistema de propulsão com motor a combustão interna (IC) com um sistema elétrico de propulsão. De uma forma simplificada, os veículos híbridos podem ser agrupados em três tecnologias do ponto de vista de acionamento das rodas do veículo: série, paralelo e série/paralelo (Figuras 5a, 5b e 5c, respectivamente, Hybrid Center, 2010)



(5a) Série



(5b) Paralelo



(5c) Série/Paralelo

**Figura 106 - Tipos de carros híbridos quanto ao tipo de acionamento**

Fonte: Hybrid Center, 2010

Na configuração em série (Figura 5a), o acionamento das rodas é sempre feito pelo motor(es) elétrico(s); a função do motor a combustão interna (IC) é acionar o gerador elétrico que envia a energia gerada para o motor de tração ou para as baterias em um processo controlado pelo módulo eletrônico. O motor IC é bem menor e menos potente do que nos veículos convencionais de mesmo porte porque ele fornece apenas a potência média consumida, sendo os picos de demanda atendidos pela bateria/motor elétrico; isto requer um conjunto maior de baterias, o que encarece esta opção em relação às outras duas (além de usar motor e gerador separados e um maior motor elétrico). Por outro lado, o motor IC trabalha sempre próximo a sua condição de máxima eficiência, e sem transientes, reduzindo em muito o consumo de combustível e as emissões de poluentes. Normalmente, o sistema usa frenagem regenerativa onde a potência absorvida na redução de velocidade é transformada em energia elétrica a ser armazenada nas baterias, aumentando ainda mais a eficiência energética do veículo.

Na versão híbrida paralela (Figura 5b), o acionamento das rodas é feito por ambos os motores (IC e elétrico), com a ajuda do módulo eletrônico e do sistema de transmissão de potência (existem modelos em que o motor IC aciona um conjunto de rodas e o elétrico o outro conjunto). A carga das baterias, que são de menor porte que no caso híbrido série, é feita principalmente com a frenagem regenerativa, mas também pelo motor IC quando a demanda de potência pelo veículo é baixa. O fato de o motor IC acionar as rodas diretamente elimina perdas de eficiência pela conversão e energia mecânica em elétrica e de volta à mecânica, o que favorece a economia de combustível nas estradas; todavia as freqüentes variações de demanda das paradas e partidas nos percursos urbanos, não totalmente supridas pelo motor elétrico, causam um maior consumo de combustível nestas condições. Nesta tecnologia o gerador e o motor elétrico são combinados em um único equipamento.

Para aproveitar as vantagens de ambas as tecnologias, foi concebida a alternativa de acionamento série/paralelo (Figura 5c), a custo de uma maior complexidade do sistema. O motor IC tanto pode acionar o motor elétrico como as rodas diretamente, sendo desconectado das rodas, deixando o acionamento somente a

cargo do motor elétrico, nas condições de baixa demanda de potência. Deste modo o sistema opera como paralelo em velocidades mais altas e como série nas velocidades mais baixas, permitindo que o motor IC opere sempre mais próximo de suas condições de eficiência máxima. A necessidade de motor e gerador elétrico separado, motor IC de maior porte e um sistema de controle mais sofisticado encarecem esta opção em relação às outras duas, mas os benefícios normalmente compensam.

Uma alternativa de veículos híbridos que se aproxima mais dos veículos totalmente elétricos (EV) é o chamado híbrido conectável à rede (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle), que é um híbrido que pode ter suas baterias carregadas na rede elétrica, reduzindo significativamente o uso do motor a combustão interna (IC) na operação normal do veículo. Um parâmetro importante nestes modelos é a autonomia totalmente elétrica (all electric range) que é a quilometragem que o veículo permite sem a necessidade de entrada do motor IC; quanto maior for esta autonomia, mais caro será o veículo pela necessidade de uma maior capacidade de baterias, e mais próximo o veículo estará de um veículo elétrico puro (EV). O primeiro modelo comercial de um PHEV foi lançado na China (BYD F3DM), no final de 2008, para ser utilizado em frotas governamentais e de corporações, devendo chegar ao grande público na primeira metade de 2010. Todavia, existem vários modelos programados para lançamento no curto prazo por várias montadoras em diversos países.

O potencial de reduzir emissões de GEE com o uso de PHEV é fortemente dependente do tipo de percurso (ciclo de teste), perfil de emissões do sistema de geração de energia elétrica da rede na qual os veículos são conectados para carregar as baterias e do combustível utilizado. Um estudo do Argonne National Laboratory em 2009 (Wikipedia, 2010) considerando três regiões dos USA (Califórnia, New York e Illinois) encontrou uma variação muito grande nos balanços energéticos e emissões de GEE entre as diferentes de tecnologias de produção dos combustíveis e o mix de geração das redes elétricas; um resumo dos resultados está mostrado na Tabela 85 comparando o desempenho quanto a emissões de GEE dos PHEV usando diferentes combustíveis comparado com um veículo com motor IC utilizando gasolina pura.

**Tabela 85 - Comparação de desempenho e emissões de acordo com o combustível**

Análise	Gasolina reformulada ou diesel de baixo teor de enxofre	E85 de milho e de switchgrass (2G)	Célula a Combustível a hidrogênio
Redução no uso de energia	40-60%	70-90%	> 90%
Redução de emissões de GEE	30-60%	48-80%	10-100%

Fonte: Argonne National Laboratory, 2009 em Wikipedia, 2010

Notas:

1. Uso de energia e emissões de GEE do poço às rodas (well to wheels) por um veículo PHEV com uma autonomia totalmente elétrica de 16 a 64 km, com diferentes combustíveis no motor IC (% de redução relativa a um veículo com motor convencional (IC) usando gasolina pura).
2. Simulações referidas ao ano 2020 com um PHEV modelo 2015.
3. Emissões devido a LUC e ILUC não foram consideradas.

Da tabela acima é possível se verificar que apesar da grande variação nos resultados (devido às variações das fontes de energia elétrica e das tecnologias dos combustíveis do PHEV) as reduções de consumo de energia e de emissões de GEE pelo o uso do PHEV, mesmo quando usa combustível fóssil, são significativas. Isto explica o interesse dos governos e das montadoras em desenvolver e aprimorar estas tecnologias híbridas como forma de reduzir as emissões veiculares de GEE, reduzir a dependência de petróleo importado e de reduzir as emissões de poluentes tóxicos, exigidas pelas novas legislações, principalmente nos USA e Europa.

Os veículos elétricos puros ainda não têm previsão de quando irão representar uma *market share* significativa no mercado de veículos devido aos altos custos da tecnologia quando comparado com as alternativas já existentes. Dependendo do perfil de geração do país ou região onde seriam utilizados, o resultado do uso de EVs pode ser negativo, ou seja, eles podem contribuir para o aumento da emissões globais de GEE. A parte mais crítica no processo de viabilização econômica dos EVs é a tecnologia das baterias que representam uma parte significativa do custo total do veículo completo. Segundo Wikipedia (2010) o custo adicional de um veículo PHEV com autonomia totalmente elétrica de 40 milhas (64 km), comparado com o custo de um veículo convencional equivalente, seria em torno de US\$ 18.100 dos quais US\$ 14.000 correspondem às baterias. A EPA estimou em US\$ 27.000 o custo adicional de um veículo totalmente elétrico (EV) em US\$ 27.000.

#### **2.6.4 Comentários Finais**

Na escolha de qual tecnologia é a mais conveniente, o ponto crucial seria a comparação dos custos adicionais pelo uso da nova tecnologia com os benefícios obtidos em termo de redução de emissões, tanto de GEE como de poluentes não GEE. Existem várias tecnologias avançadas para se melhorar o desempenho energético e de emissões como já descrito anteriormente (comando de válvula eletrônico, câmbio de seis marcha para frente ou mesmo de variação contínua, pneus de baixa resistência ao rolamento, redução de atrito no motor, injeção direta de gasolina, veículos híbridos). A soma de várias melhorias incrementais pode fornecer resultados razoáveis a um custo baixo que deve ser comparado com as alternativas com reduções realmente impactantes, mas de custos adicionais mais elevados.

Nas últimas décadas o desenvolvimento tecnológico dos motores veiculares foi impulsionado pela imposição legal de se reduzir emissões de poluentes locais, mas a expectativa atual é que o desenvolvimento nesta área daqui para diante será focado na economia de combustíveis e na redução de emissões de GEE, com a motivação de cumprir a metas de corte nas emissões de GEE impostas pelas legislações e acordos internacionais e pela preocupação com a segurança energética e volatilidade dos preços do petróleo. Todavia este esforço de reduzir o consumo de combustível nos veículos e nas emissões de GEE vai de certa forma contribuir indiretamente para a redução de emissões de poluentes locais.

A tecnologia de células a combustível a hidrogênio para veículos automotores (FCV) parece que vai ter um período de maturação ainda muito longo antes de chegar a representar uma contribuição substancial nesta direção, pelos problemas ainda enfrentados (custos elevados, vida útil curta, combustível caro e de difícil manuseio, etc.). Aliado a isto há ainda a necessidade de ser desenvolvida a infraestrutura de transporte, armazenagem e abastecimento veicular que também vai exigir investimentos vultosos em P&D e montagem do sistema. A IEA estima

para o final dos anos 2020s o início de uma participação importante do FCV's na frota veicular mundial, a menos que surjam pressões muito fortes para acelerar o processo.

Com o aumento da sofisticação das tecnologias a otimização dos resultados vai depender dos desenvolvimentos que consideram a qualidade do combustível como parte inerente do processo. O conjunto combustível/motor/sistema de pós-tratamento vai continuar a ser estudado, testado e desenvolvido como um único processo; considerando a pequena importância econômica que os biocombustíveis têm hoje no setor de transporte (pouco acima de 2% do total de combustíveis veiculares consumidos) há um risco muito grande de que eles fiquem marginalizados neste desenvolvimento tecnológico futuro, como o foi o etanol no desenvolvimento dos carros populares no Brasil nos anos 1990s. Para que isto não aconteça, se faz necessário um esforço constante do governo, produtores de biocombustíveis e agências ambientais para estimular a participação dos biocombustíveis neste desenvolvimento tecnológico.

Do ponto de vista da poluição local das grandes cidades, os veículos híbridos e os elétricos serão muito importantes na redução das emissões veiculares. As emissões de poluentes serão transferidas para os locais de geração de energia, mas considerando o perfil fortemente hidroelétrico da matriz de eletricidade no Brasil, o resultado global será positivo. O etanol poderá contribuir para aumentar o potencial redutor de emissões destas novas tecnologias caso seja incluído no processo de desenvolvimento.

## **2.7 Estudo introdutório das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil<sup>50</sup>**

### **2.7.1 Introdução**

Este projeto introduz metodologia baseada em técnicas de programação matemática para explorar os potenciais de integração dos setores sucroalcooleiro, pecuário e de lavoura integrada com reformas de canaviais. Para isso, levam-se em conta as tecnologias disponíveis numa usina com dada capacidade de moagem por safra, com capacidade de processamento de bagaço para produção de bagaço hidrolisado para composição de rações para complementação alimentar de bovinos em áreas de pastagem da usina e/ou de fornecedores de cana, e para confinamento. O estudo considera a produção de soja e milho em áreas de reforma de canaviais que normalmente ocorrem 5 ou 6 anos após o plantio e que representam cerca de 15% da área total utilizada para plantio de cana. Esses grãos são considerados na produção de rações em conjunto com o bagaço in natura, bagaço hidrolisado, levedura e melaço.

Em trabalho anterior foi estudada a seguinte situação: Dada uma área de 100.000 hectares ocupada por pecuária de bovinos (recria e engorda) com baixa tecnificação (tipicamente 0,7 unidade animal por hectare), é possível instalar uma destilaria que processa 2 milhões t/ano de cana, ocupando 28.000 hectares desta área, e ainda

---

<sup>50</sup> Pesquisadores responsáveis: Miguel Taube Netto (UniSoma Matemática para Produtividade) e Joaquim Seabra.

produzir, com os benefícios da integração, a mesma quantidade anual de carne? Mostrou-se que com utilização de suplementação de pastos, confinamento e plantio de soja e milho em áreas de reforma, sem nenhum insumo externo adicional, a resposta é positiva.

A resposta positiva ao questionamento acima pode ser construída com base em cálculos simples em planilhas, envolvendo dados experimentais disponíveis na literatura técnica. Entretanto, outra questão é posta: Que metodologia permite análises das interações entre produção do bioetanol, grãos e carne, levando em conta a dinâmica de mudanças tecnológicas e econômicas ao longo do tempo?

### **2.7.2 Metodologia**

É representada, através de um modelo de programação matemática, a evolução no tempo das atividades de aquisição de bezerros, uso de pastos para recria e engorda, uso de suplementação alimentar, uso de confinamento para engorda e venda de bois gordos, de forma a maximizar a quantidade de carne produzida. Foram também representadas no modelo as composições das rações para suplementação de pastos e para confinamento com utilização de bagaço hidrolisado, bagaço úmido in natura, levedura, suprimento de farelo de soja derivado de soja plantada nos períodos de reforma e de grãos de milho também de áreas de reforma. Os preços de aquisição de bezerros e de venda de bois gordos foram obtidos de séries históricas do mercado interno brasileiro. As principais variáveis de decisão representam as quantidades de bezerros adquiridas num mês  $m$  para venda no mês  $n$ , sendo encaminhados para confinamento no mês  $i$ , se conveniente (a ser determinado pelo modelo), de maneira que num dado mês do horizonte de planejamento (tipicamente 120 meses para melhor representação da dinâmica de criação) o total das áreas de pastagem em utilização seja menor ou igual à área disponível para a criação de bovinos (72.000 hectares, no estudo mencionado). São obtidos da literatura os ganhos típicos de peso dos animais, para cada mês, em criação extensiva, em pastos com suplementação e em confinamento.

A Tabela 86 indica as características de uso de uma área de 100.000 hectares, com 28.000 hectares ocupados com cana, restando 72.000 hectares para pasto (usados para recria e/ou recria e engorda), com percentuais variáveis de bagaço disponibilizado para rações.



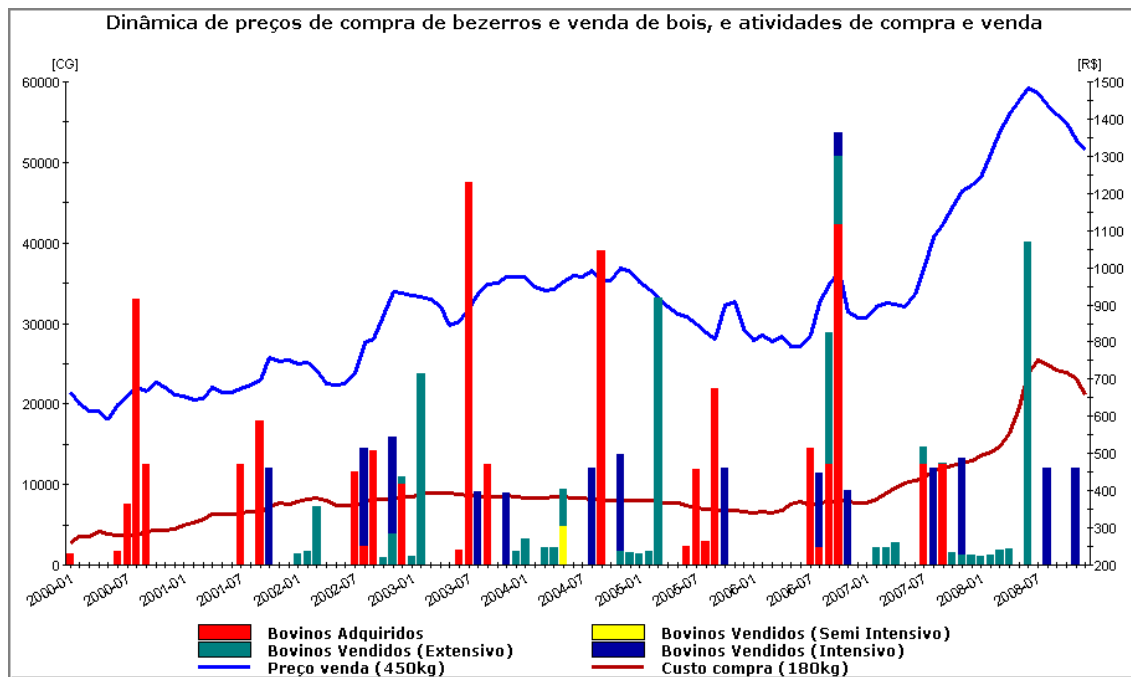
**Tabela 86: São apresentados vários indicadores calculados em função de várias disponibilidades de bagaço.**

Item	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Bagaço disponível (%)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Área de Pasto (ha)	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	2.425	4.850	7.275	9.699	12.130	14.549	16.974	18.600*	18.600*	18.600*
Capacidade Suplementação (c.g)	3.889	7.778	11.667	15.556	19.450	23.333	27.222	31.111	35.000	38.889
Ocupação Média (U.A./ha)	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,80
Produção de Carne Anual (ton)	14.444	15.450	16.537	17.929	19.325	20.714	22.089	23.104	23.104	23.115
Produção de Carne Média (kg/ha)	200,62	214,58	229,68	249,01	268,40	287,69	306,79	320,89	320,89	321,05
Rentabilidade Média (R\$/ha)	123,69	129,21	134,66	140,04	145,43	150,73	155,97	159,45	159,45	159,45
Idade Média de Abate (meses)	34,49	33,70	32,95	32,14	31,44	30,83	30,29	30,00	30,00	30,01
% de Manejo Tradicional	87,75	76,88	67,45	59,52	52,65	46,67	41,34	38,35	38,35	38,36

\* O limitante se dá pela disponibilidade de grãos e não pelo bagaço nestes anos.

Note-se que a produção em confinamento chega ao limite 18.600 cabeças de gado no nível de 8% de bagaço in natura disponível, porque o fator limitante é a produção de grãos, uma vez que estamos assumindo que as ofertas de grãos são somente aquelas obtidas das áreas de reforma. Esta hipótese assegura condições favoráveis para a análise de ciclo de vida (ACV ou, em inglês, LCA) e dLUC (direct land-use change) /iLUC (indirect land-use change). Notem-se ainda os ganhos na produção anual de carne, na idade média de abate e, conseqüentemente, na rentabilidade.

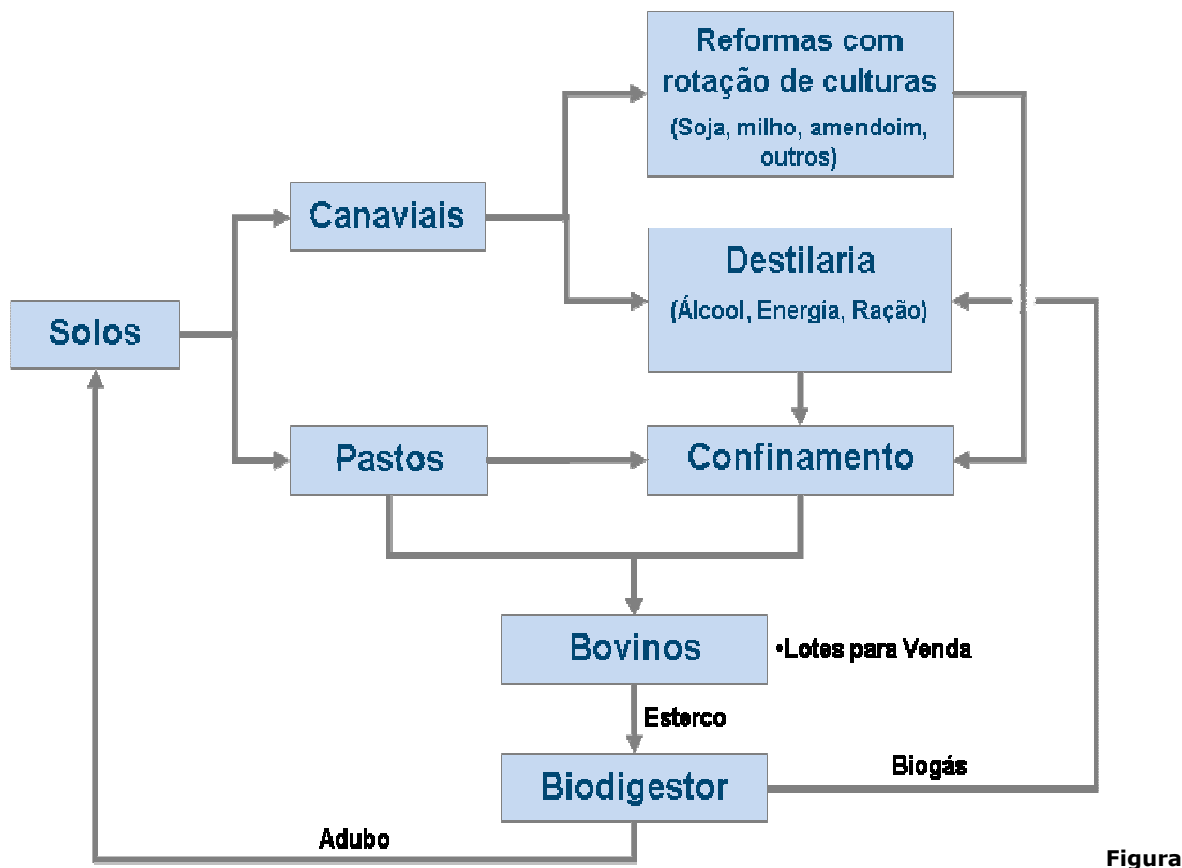
A metodologia de análise considerou uma dinâmica de preços de compra de bezerros e venda de boi gordo ao longo de um período de 2000 a 2009 indicado na figura abaixo, ao longo do qual é simulada uma situação em que se maximiza a produção total de carne através da compra de bezerros e venda de bois gordos em quantidades e momentos (meses) otimizados. Para isso considerou-se que inicialmente todos os pastos e confinamentos estão vazios. A Figura 107 apresenta as quantidades mensais de compra de bezerros e venda de bois gordos resultantes das atividades de pastagem extensiva (baixa tecnologia sem suplemento alimentar), semi intensiva (com suplementação com ração obtida com bagaço hidrolisado, sem confinamento), e intensiva (pastagem extensiva seguida de confinamento durante três meses).



**Figura 107: Dinâmica mês a mês de compra de bezerros e venda de bois gordos. A curva vermelha corresponde aos custos de compra de bezerros (R\$/bezerro de 180 kg) e a azul as receitas de venda de bois gordos (R\$/boi de 450kg)**

O modelo matemático foi programado com a linguagem algébrica AIMMS-Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software que dispõe do “solver” CPLEX, a qual facilita o desenvolvimento de sistemas para “Supply Chain Planning” normalmente associados a ambientes de “ERP-Enterprise Resources Planning” atualmente utilizados por empresas de médio e grande porte, como acontece com várias usinas de processamento de cana.

Esta metodologia pode ser usada em situações mais complexas como a ilustrada na Figura 108, onde se considera uma destilaria de etanol e energia elétrica, ampliada para otimizar seu desempenho econômico com a integração com atividades de produção de grãos e bovinos.



**Figura 108: Integração da produção do bioetanol e seus co-produtos e subprodutos com produções de grãos e pecuária.**

É também possível estudar as interações dos interesses de usineiros, pecuaristas e frigoríficos no nível de uma única usina ou de um conjunto delas ("cluster"), considerando aspectos logísticos, tecnológicos, econômicos e ambientais. As interações com frigoríficos próximos às usinas propiciam ainda o aproveitamento via compostagem de sangue, conteúdo ruminal, lodo linha verde e lodo linha vermelha, juntamente com os resíduos dos confinamentos e das usinas (torta de filtro e cinza das caldeiras), conforme preconiza estudo "Alternativas Sustentáveis para Produção Integrada Entre o Setor Sucroalcooleiro e Frigoríficos" da ESALQ-USP, Departamento de Agroenergia.

### 2.7.3 Atividades

A Figura 108 indica importantes interações no ambiente de integração das produções tradicionais de usinas de açúcar e álcool, ou de refinarias de álcool com as produções de grãos em áreas de reformas e com as atividades de pecuária. Os objetivos deste contrato abrangem aspectos tecnológicos sem considerar cenários mais complexos derivados de relacionamentos comerciais envolvendo usineiros, pecuaristas e frigoríficos. No entanto, algumas observações sobre esses relacionamentos serão feitas para estudos futuros.

Para a realização das atividades deste contrato, a Unisoma disponibilizou seus recursos de software e hardware, em particular a licença da linguagem algébrica AIMMS.

Os seguintes estudos foram realizados:

**Estudo 1** - Avaliação da integração ótima de áreas para destilaria e pecuária. Neste estudo não será predefinida uma área específica para pecuária como no estudo acima relatado, cabendo ao modelo determinar qual a área ideal para aproveitamento da disponibilidade de interações com a destilaria.

**Estudo 2** - Custo oportunidade do bagaço. Será avaliado o valor do bagaço como fonte de combustível para a produção de energia elétrica frente à opção de utilizá-lo como ingrediente na composição de rações para bovinos.

**Estudo 3** - Os resultados obtidos do estudo da integração ótima servirão como base para uma avaliação macro das possibilidades de "clusters" de destilarias às quais são associadas áreas originalmente de pastos, normalmente degradados, tornando-as disponíveis para cana, pastos e produção de grãos, tendo como objetivo o atendimento das demandas mensais previstas/induzidas de bois gordos associadas a cada "cluster" de usinas, ao longo de um horizonte típico de 120 meses. Este estudo propiciará análises de vários cenários correspondentes a diferentes hipóteses de manejo de pastos:

- Cenário 1: Além de se considerar o preço alternativo do bagaço determinado no Estudo 2, impor diferentes percentuais de bagaço destinados à produção de ração usando os mesmos ciclos de recria e engorda do Estudo 1.
- Cenário 2: Ampliar o Cenário 1 considerando ciclos de recria e engorda diversos, em especial permitindo até 3 períodos de engorda ao longo do ano.
- Cenário 3: Permitir, no Cenário 2, compra de fertilizantes para melhoria dos pastos.
- Cenário 4: Permitir, nos cenários acima, compra de outros insumos, além de bagaço e grãos obtidos dos plantios em áreas de reformas, para produção de ração.

Nas condições analisadas acima serão consideradas as "Perspectivas de redução de emissões na produção de etanol integradas à pecuária de corte".

#### 2.7.4 Indicadores pecuários

É necessário definir uma metodologia para avaliar os impactos na pecuária com os benefícios providos pela integração com a destilaria. A literatura define uma série de indicadores zootécnicos e financeiros que são usados por pecuaristas na avaliação da eficiência do manejo.

Para os estudos apresentados neste trabalho, utilizaremos os seguintes indicadores como base de comparação (El-Memari Neto, 2006):

**TAXA DE ABATE:** Mede a percentagem de animais abatidos dentro do período determinado (ano agrícola ou civil).

$$\text{TAXA DE ABATE (\%)} = \frac{\text{Animais abatidos}}{\text{Total do rebanho (inicial)}} \cdot 100$$

**TAXA DE DESFRUTE:** Este índice representa a produção do rebanho dentro do período avaliado. Deve ser avaliada em Cabeças ou UA's (450 kg de PV).

$$\text{TAXA DE DESFRUTE (\%)} = \frac{\text{Estoque final} - \text{estoque inicial} - \text{compras} + \text{vendas}}{\text{Estoque inicial}}$$

Nota: Numa análise da dinâmica das atividades ao longo de um horizonte de vários meses, como neste projeto, pode ocorrer que num dado mês o estoque inicial seja zero tendo em vista uma melhor operação futura, deixando os pastos temporariamente vazios para serem ocupados mais tarde com bezerros mais baratos. Neste caso a taxa de desfrute é definida como zero.

LOTAÇÃO MÉDIA ANUAL: Mede a carga animal que a fazenda manteve por unidade de área (ha) durante o ano. Deve ser avaliada em Cabeças ou UA's (450 kg de PV).

$$\text{LOTAÇÃO MÉDIA ANUAL (UA/ha ou CG/ha)} = \frac{\text{Média de rebanho}}{\text{Área de pastagem}}$$

PRODUÇÃO DE CARNE/ha: Mede a produção em kg de peso vivo por unidade de área.

$$\text{PRODUÇÃO DE CARNE/ha (kg/ha)} = \frac{\text{Estoque final} - \text{Estoque inicial} - \text{compras} + \text{vendas}}{\text{Área de pastagem}}$$

PRODUÇÃO DE CARNE/UA: Mede a produção em kg de peso vivo (ou @ de carcaça) pela disponibilidade de animais.

$$\text{PRODUÇÃO DE CARNE/UA (kg/UA)} = \frac{\text{Estoque final} - \text{Estoque inicial} - \text{compras} + \text{vendas}}{\text{Estoque inicial}}$$

Nota: O mesmo comentário da nota acima é válido para este indicador.

## 2.7.5 Realização dos estudos

Os estudos apresentados nesta seção têm como objetivo analisar diversos cenários de integração entre a pecuária e a cana-de-açúcar. O primeiro estudo foca em obter a melhor integração possível entre os negócios. O segundo busca precificar o custo de oportunidade do bagaço como fonte de produção de energia elétrica frente à opção de utilizá-lo como ingrediente na composição de rações para bovinos. O terceiro estudo propiciará uma avaliação de diversos cenários para a implantação de clusters de destilarias, incorporando novos condicionantes como a utilização de fertilizantes no pasto e a aquisição de grãos de terceiros.

Estes estudos compartilham algumas premissas que serão apresentados a seguir.

### 2.7.5.1 Premissas gerais

Determinadas premissas para os estudos e seus cenários foram previamente fixadas e serão usados por todos. Esta condição foi estabelecida para que fosse possível obter uma avaliação imparcial dos resultados. Devido às variações de preços na cadeia produtiva da pecuária e da cana-de-açúcar, uma determinada região, horizonte de avaliação, indicadores pecuários básicos, entre outras premissas foram selecionadas. Certos condicionantes específicos de algum estudo serão apresentados junto com o mesmo.

## Região avaliada

Dado o contexto de expansão da cana-de-açúcar no Brasil, o cenário de avaliação da integração foi elaborado levando em conta o histórico de custos e preços da atividade agroindustrial da fronteira agrícola da cana-de-açúcar no sul de Goiás. Mais especificamente, foi utilizada como referência a área "A04" definida por estudos anteriores (CGEE, 2009a), e que visa à possibilidade da instalação de um cluster de destilarias na região.

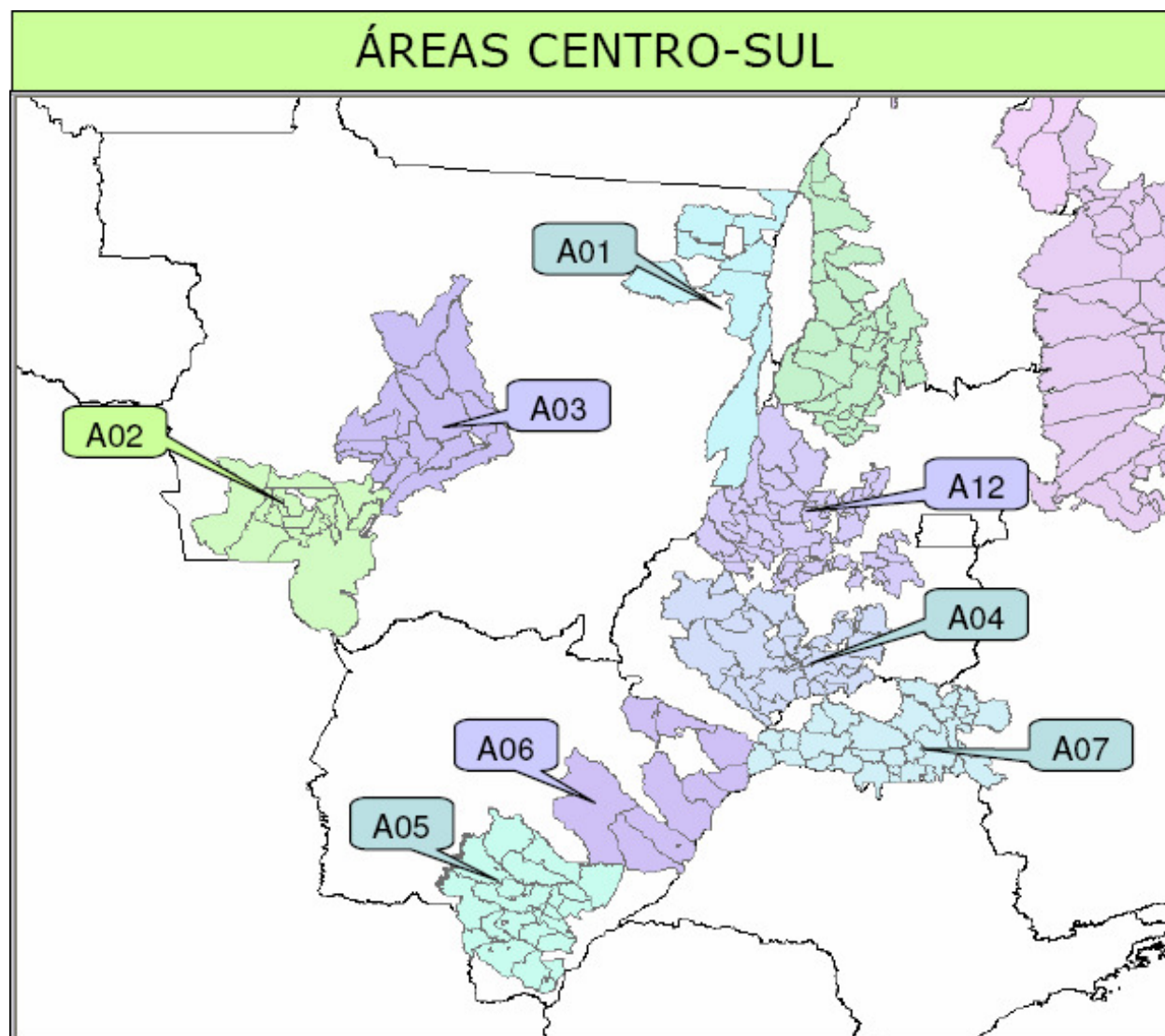


Figura 109: Áreas para expansão na região Centro-Sul (CGEE, 2009a).

Esta área compreende o sul do estado de Goiás e possui potencial de expansão da sua produção atual de cana-de-açúcar. A figura abaixo apresenta os municípios que compõe esta região.



Figura 110: Municípios da área "A04". Adaptado de (CNM).

## Destilaria padrão

Os estudos conduzidos pelo CGEE também estabeleceram um padrão para as unidades produtoras de etanol a serem implantadas no cluster (CGEE, 2009b).

Estas unidades, denominadas de "destilaria padrão", são destilarias autônomas com capacidade de moagem de dois milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, um equivalente a 11.976 toneladas por dia útil, considerando-se uma safra de 167 dias úteis.

Na definição desta destilaria, foi considerado um coeficiente de conversão de 85 litros de etanol por tonelada de cana processada, resultando numa capacidade aproximada de produção diária de etanol 100°INPM de 1.017.960 litros, ou o equivalente a 1.066.767 litros de AEHC (Álcool Etílico Hidratado Combustível) ou 1.020.370 litros de AEAC (Álcool Etílico Anidro Combustível).

O processo de produção analisado segue os modelos tradicionais de destilarias brasileiras, definidos, em termos gerais, em: recepção, lavagem, preparo do caldo, extração do caldo, tratamento do caldo, fermentação e destilação.

Os parâmetros gerais destes da destilaria e seus processos estão resumidos na tabela abaixo.

**Tabela 87: Parâmetros gerais da destilaria padrão**

Item	Valor
Moagem/ano safra (toneladas de cana)	2.000.000
Dias úteis/ano safra	167
Moagem diária (toneladas de cana por dia útil)	11.976
Rendimento Industrial (litros etanol/tonelada de cana)	85
Produção diária de etanol (litros)	1.017.960
Produção total de etanol safra/usina (litros)	170.000.000
Área agrícola disponível (ha)	28.000
ART na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	140
Bagaço (umidade 50%) total em cana (kg/tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	96,0
Eficiência no tratamento do caldo (%)	97,0
Rendimento na fermentação	89,26
Rendimento na destilação	99,0
Rendimento global	82,29

A configuração da destilaria padrão, no que diz respeito a seu sistema de cogeração e integração energética, leva em consideração um padrão ultrapassado de produção de vapor e energia elétrica, mas que reflete a situação atual de muitas usinas e destilarias no Brasil. Neste caso, consideramos a produção de vapor a 22 bar e 320°C com um vapor de processo a 2,5 bar e 128°C. De acordo com estes padrões, estima-se que a destilaria produza 40,0 kWh / tonelada de cana, um total de 80.000 MWh ao longo da safra, sendo parte dessa produção consumida pela própria destilaria.

### **Clusters**

Em projeto para a identificação das regiões que apresentam o maior potencial de crescimento na produção de Etanol, conduzido pelo CGEE (2009b), foi definido o conceito de cluster de destilaria.

Um cluster é um conjunto de destilarias que são ligadas pela proximidade. No projeto, foi definido que cada cluster possui 15 destilaria.

Na região "A04", que será usada como base para os estudos conduzidos, foi identificado o potencial de incorporação de 5 clusters, representando um total de 75 destilarias padrão.

Nos estudos que seguem, os cenários foram avaliados de acordo com uma destilaria padrão, porém, a ligação com o clusters se faz de maneira imediata, extrapolando os resultados obtidos para o conjunto de 75 destilarias, ou 5 clusters.

### **Horizonte de avaliação**

O horizonte do cenário contempla os últimos dez anos, começando em janeiro de 2000 e terminando em dezembro de 2009. O horizonte utilizado é extenso a fim de evitar que flutuações em intervalos menores influenciem a dinâmica do negócio no longo prazo, sendo este o interesse do estudo.



## Preços de compra bezerro e venda de boi gordo

A dinâmica da recria e engorda de bovinos é altamente influenciada pela sazonalidade dos preços nos períodos de seca e chuva como pode ser observado no gráfico a seguir. Neste contexto, se faz necessário um detalhamento mensal dessas variações. Nos cenários avaliados foram considerados os preços de compra de bezerro (8 a 12 meses, raça de corte, 180 kg PV) e preço de venda de boi gordo (mínimo de 450 kg PV, máximo de 525 kg PV e 55% de carcaça) na região sul de Goiás. Dados de janeiro de 2004 a dezembro de 2008 foram levantados junto ao ANUALPEC (2009). Para completar o horizonte definido para o cenário (janeiro de 2000 até dezembro de 2009), os valores foram obtidos extrapolando-se as variações no preço de compra de bezerro e venda de boi gordo no estado de São Paulo apurado pelo CEPEA (2010a e 2010b). Esta extrapolação tem alto grau de confiabilidade, dado a elevada correlação (>99%) entre os dados de Goiás e São Paulo no período comum.

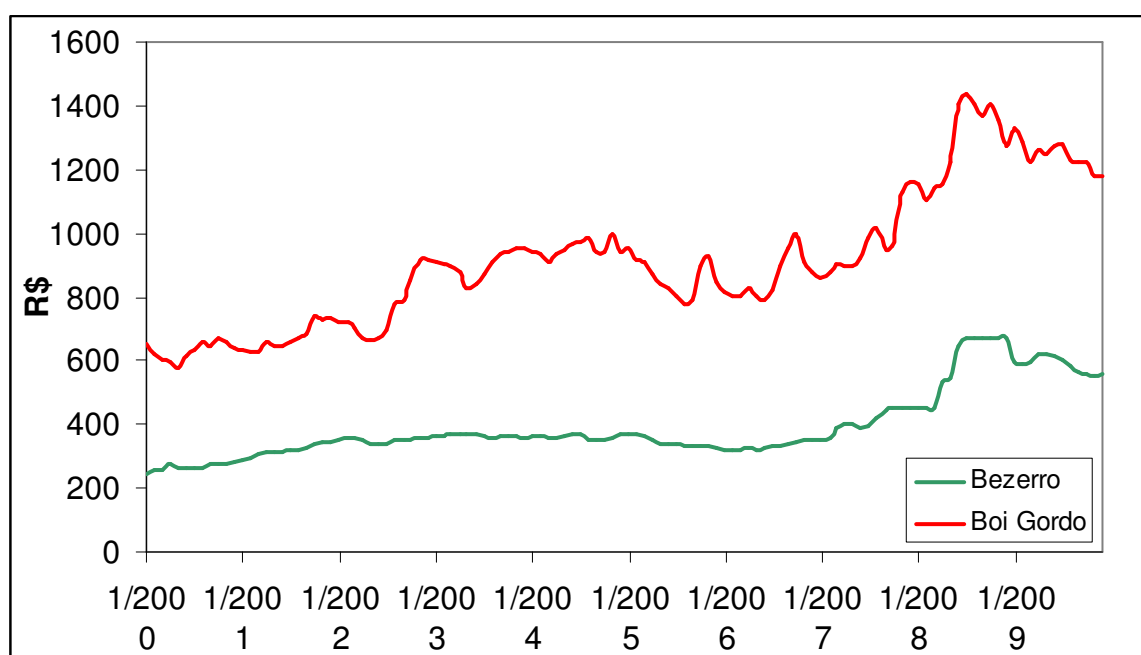


Figura 111: Variação do preço de compra de bezerros e venda de boi gordo

## Preço de terra

O preço da terra é outro fator de influência sobre os negócios da pecuária. O custo de oportunidade da venda ou arrendamento da terra deve ser levado em conta e, portanto, foram utilizados os custos da terra do ANUALPEC (2009) para a região de Rio Verde – GO (Região iFNP 69), contida na área "A04". Como é possível observar, as pressões causadas pela expansão de culturas na região vêm elevando os preços da terra consideravelmente. Dado que o estudo visa à substituição de áreas de pecuária por área agrícola da nova destilaria, os preços apurados referem-se às áreas de pastagem formada de baixo suporte.

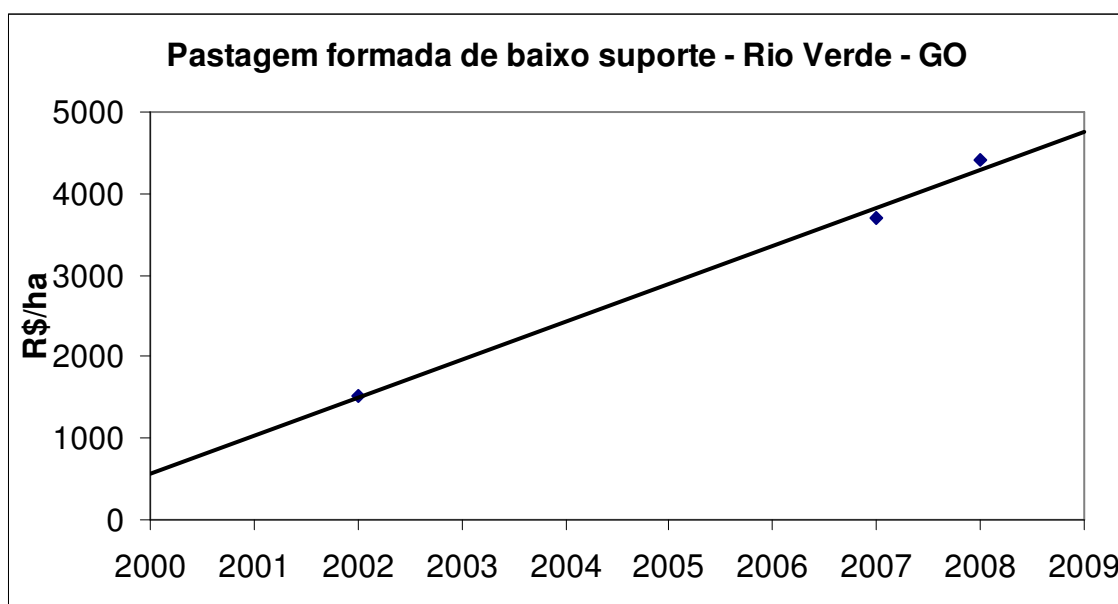


Figura 112: Histórico de preço de terra

### Pecuária extensiva

O objetivo deste estudo é apresentar as mudanças geradas a partir da integração da pecuária com a cana-de-açúcar. Faz-se necessário então definir quais as condições atuais da pecuária na região.

A tabela a seguir apresenta a caracterização da pecuária de recria e engorda extensiva no município de Caçu, contido na região "A04" e no sul de Goiás, pelo ANUALPEC (2009).

Tabela 88: Indicadores da pecuária extensiva

	Extensivo
Idade de Abate (meses)	35
Peso Vivo médio de abate (kg)	459
Capacidade de suporte das pastagens (UA/ha/ano)	0,9
Produção (kg PV/UA/ano)	168
Custo de produção (R\$/CG/mês)	16,00
Rentabilidade (R\$/ha)	170,00

### Curvas de crescimento

As curvas de crescimento de bovinos são definidas a partir do ganho de peso médio do animal a cada mês. Existe uma grande variabilidade de ganho de peso entre os períodos de chuva e seca ao longo do ano. Devido à precipitação concentrada na época de chuvas, existe uma abundância de matéria seca (e outros nutrientes) nesta época, enquanto que na seca há escassez. Outros fatores climáticos, como temperatura, também influenciam o resultado.

Para os cenários analisados neste estudo, foram definidos ganhos de pesos de acordo com os indicadores apresentados no ANUALPEC (2009). As variações durante o período de seca e chuva foram definidas de acordo com valores médios

apurados na literatura, sendo menos acentuada para o manejo semi-intensivo, que suplementa o boi durante o período de seca.

**Tabela 89: Ganho de peso médio para os diferentes tipo de manejo**

	<b>Intensivo</b>	<b>Semi-intensivo</b>
Ganho de peso em Pasto (kg PV/mês)	12,75	15,77
Ganho de peso em Confinamento (kg PV/mês)	46,00	-

## **Financeiro**

Para gerar os planos ótimos de manejo nos cenários dos estudos 1 e 3, um modelo matemático baseado em técnicas de programação linear foi desenvolvido. Assim, é necessário definir quais os critérios para a tomada de decisão. Por se tratar de um modelo tático / estratégico e não operacional, as decisões devem garantir e melhorar a viabilidade financeira dos negócios envolvidos.

Uma função objetivo visando à maximização do VPL do fluxo de caixa foi definida. A taxa aplicada para a fórmula do VPL e para o custo da terra foi fixada em 6%. Os itens que compõe o fluxo de caixa são:

- Receita da venda de boi gordo (+)
- Receita pelo uso de dejetos para produção de biogás e biofertilizantes (+)
- Custos de aquisição de bezerras (-)
- Custos de manejo / local do bovino (-)
- Custo de produção de ração para bovino (-)
- Receita pela venda de bois inicial (+)
- Custo da terra (-)

Sendo a soma dos primeiros cinco itens o lucro operacional do negócio.

Também foi estabelecido um critério para a perpetuação do ciclo de manejo no pós-horizonte. Ciclos de 2 anos (por se tratar de recria e engorda, os lotes não ultrapassam este tempo) foram estabelecidos pelo modelo no pós-horizonte. Estes ciclos foram perpetuados usando os preços e custos médios do último ano do horizonte.

## **Consumo de ração**

O consumo de ração para os manejos intensivos e semi-intensivos, na forma de alimentação de confinamento e suplemento alimentar em pasto respectivamente, foi definida em estudos anteriores e foi baseado em informações de especialistas e literatura de experimentos realizados (MARGARIDO et al.). Este consumo foi definido para 1 UA.

**Tabela 90: Consumo de insumos por UA e manejo**

Insumo	Semi-intensivo	Intensivo
Bagaço Hidrolisado (kg/UA)	362,871	243,333
Bagaço in Natura (kg/UA)	27,375	
Levedura úmida (kg/UA)	148,738	
Milho grão (kg/UA)	88,817	
Farelo de soja (kg/UA)	27,679	
Uréia (kg/UA)	2,433	2,457
Sal mineral (kg/UA)	8,517	
Rumensin (kg/UA)	0,091	

O período típico de uso de suplemento em pasto corresponde aos meses em que há menor disponibilidade de nutrientes no pasto, que corresponde ao período de seca. Para os estudos apresentados, os meses de uso de suplementação vão de junho até novembro.

Os períodos de confinamento são tipicamente conduzidos em ciclos de 90 dias. Para os estudos apresentados consideraremos a possibilidade de dois ciclos anuais, que poderão ser realizados durante os meses de junho até novembro.

### **Custos**

Os custos de produção da pecuária de recria e engorda com escala foram baseados nos valores apresentados pelo ANUALPEC (2009) para Caçu – GO, localizado no sul de Goiás e município que compõe a região “A04”. Assim como foi definido para os preços de compra de bezerro e venda de boi gordo, estes valores foram extrapolados para o horizonte baseados nas variações do preço do boi gordo de São Paulo dado pela CEPEA (2010a e 2010b).

**Tabela 91: Custo de manejo de bovinos**

Ano	Intensivo	Semi-intensivo
2000	13,44	11,72
2001	14,85	12,94
2002	16,25	14,16
2003	17,65	15,38
2004	19,05	16,61
2005	20,46	17,83
2006	21,86	19,05
2007	23,26	20,28
2008	24,67	21,50
2009	26,07	22,72

Estes custos representam uma parcela operacional dos custos da pecuária, incluindo mão de obra, insumos, pastagens, cercas e benfeitorias, tratores e veículos e administração.

## Disponibilidade de insumos

Foram estabelecidos níveis de disponibilidade de insumos de acordo com as condições da “destilaria padrão” e uma integração sem o uso de insumos para terceiros. Para tal, todos os insumos são produzidos como subprodutos da destilaria ou através das áreas de reforma da destilaria conforme definido em estudo anterior para o CGEE (2009c). O total de bagaço disponibilizado corresponde a 10% do total de bagaço da destilaria.

**Tabela 92: Disponibilidade de insumos para ração**

Insumo	Disponibilidade (t)
Farelo de soja	3.050
Milho grão	9.814
Levedura úmida	17.000
Bagaço <i>in natura</i> & hidrolisado	56.000

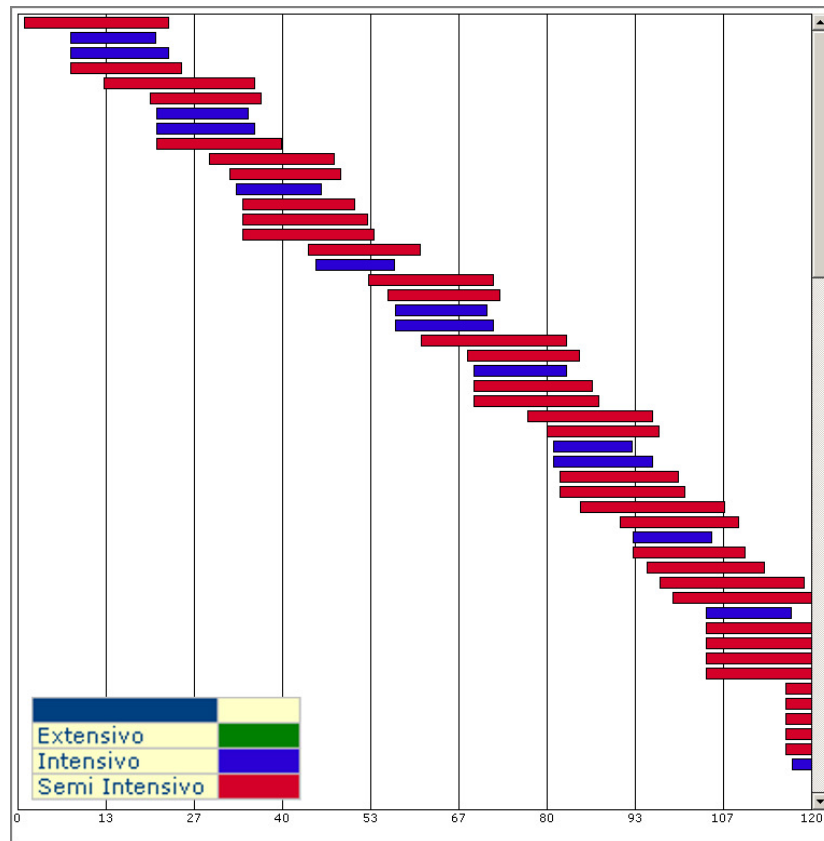
### 2.7.5.2 Estudo 1

O estudo apresentado nesta seção consiste na avaliação da integração ótima das áreas de destilaria e pecuária. Neste estudo não será predefinida uma área específica para a pecuária, cabendo ao modelo determinar qual a área ideal para aproveitamento da disponibilidade de interações com a destilaria.

#### Resultados

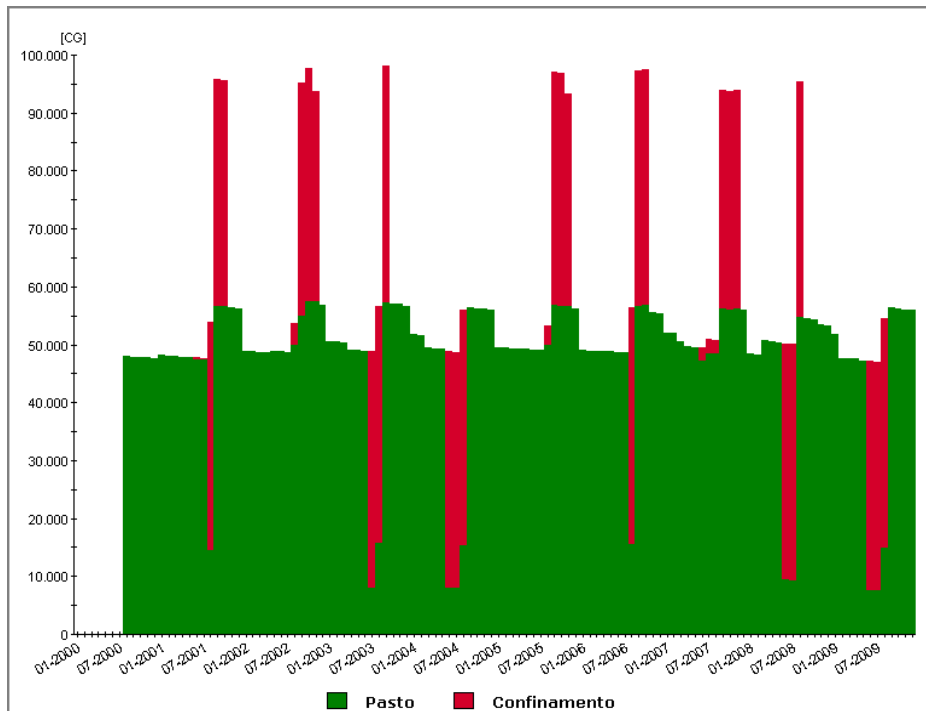
A partir dos dados apresentados, foi gerado um cenário de avaliação do manejo ótimo. O modelo matemático de programação linear gerado possuiu 1.286 restrições e 2.049 variáveis de decisões, com 47.865 coeficientes não-zeros.

Cinquenta e dois lotes de bois foram criados. Cada lote é caracterizado por data de compra, data de venda e manejo praticado (intensivo ou semi-intensivo). A distribuição ao longo do horizonte pode ser observada no gráfico abaixo.

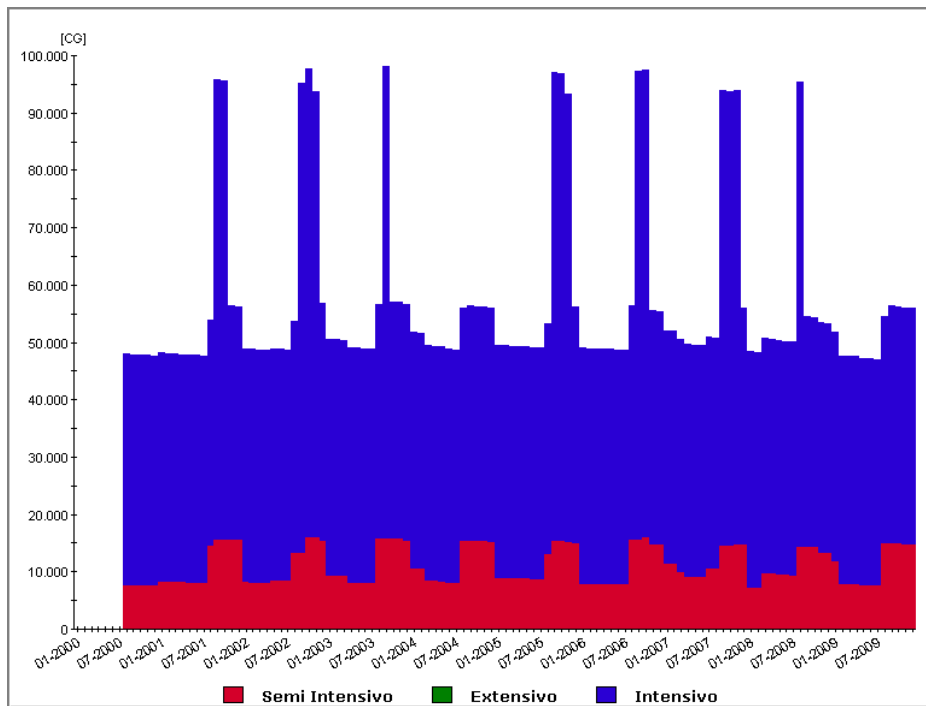


**Figura 113: Início e fim de manejo por lote**

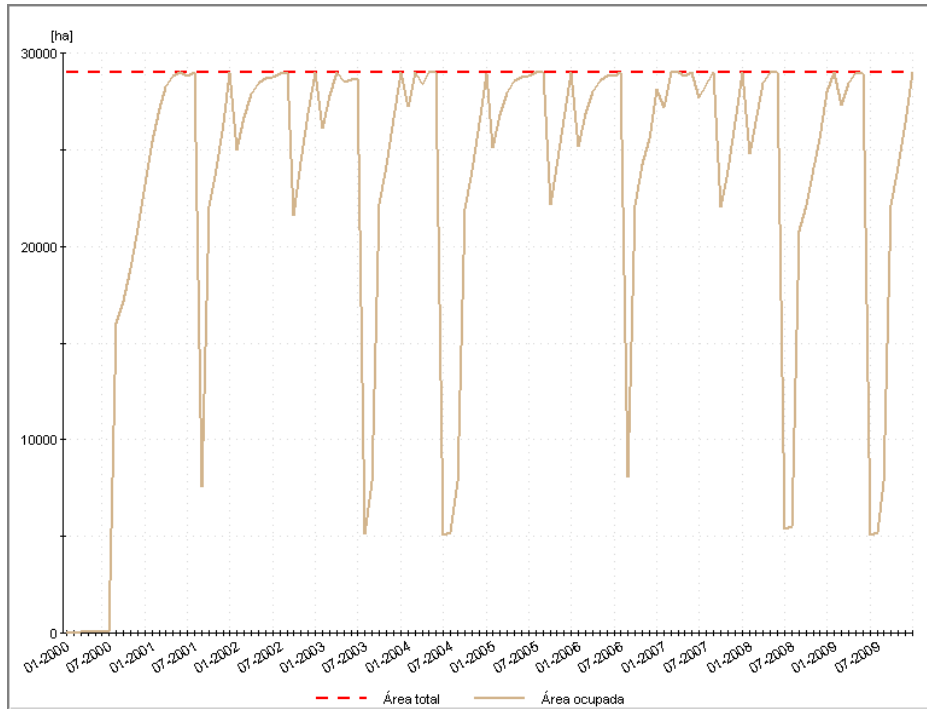
A ocupação do pasto e confinamento e sua dinâmica de manejo podem ser observadas nos gráficos a seguir.



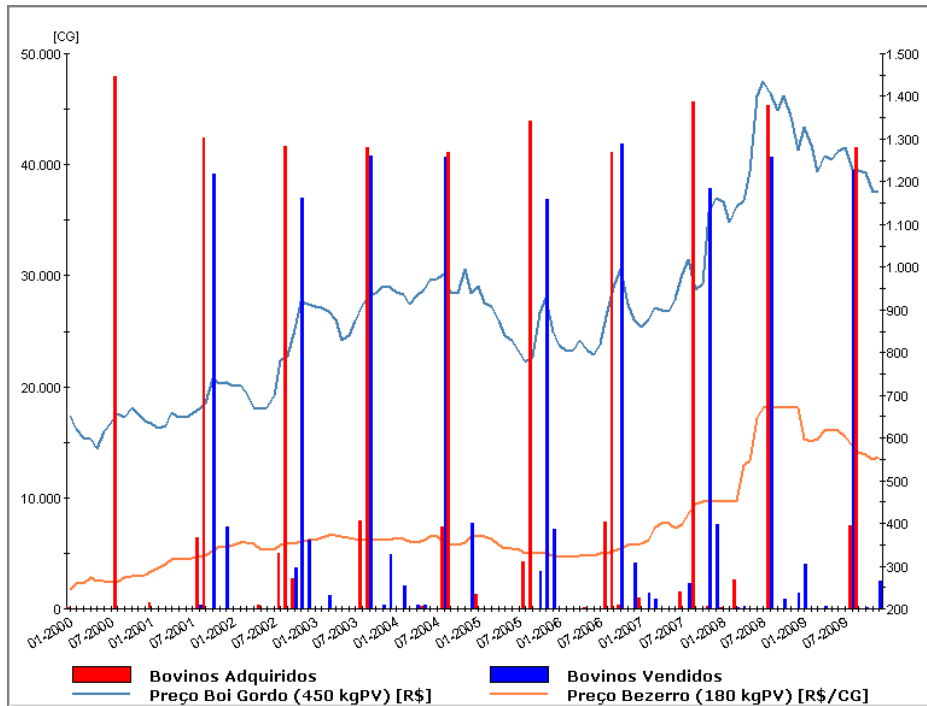
**Figura 114: Cabeças de gado por local**



**Figura 115: Cabeças de gado por manejo**



**Figura 116: Ocupação do pasto**



**Figura 117: Aquisição e venda de bovinos e seus preços**



O consumo de insumos necessários para a realização deste plano de manejo é descrito na tabela a seguir e atende aos limitantes de disponibilidade definidos pelo problema.

**Tabela 93: Consumo de insumos ao longo do horizonte**

Insumo (kg)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Bagaço hidrolisado	3.448	52.983	52.983	52.983	52.983	52.983	52.983	52.983	52.315	52.983
Bagaço <i>in natura</i>		3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017
Levedura úmida		16.390	16.390	16.390	16.390	16.390	16.390	16.390	16.390	16.390
Milho grão		9.787	9.787	9.787	9.787	9.787	9.787	9.787	9.787	9.787
Farelo de soja		3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050
Uréia	35	399	399	399	399	399	399	399	393	399
Sal mineral		939	939	939	939	939	939	939	939	939
Rumensin		10	10	10	10	10	10	10	10	10

Os principais indicadores pecuários, conforme já apresentado anteriormente, podem ser observados na tabela a seguir, discriminados anualmente.

**Tabela 94: Indicadores ao longo do horizonte**

Indicador	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Bezerros Adquiridos (CG)	48.045	49.277	49.720	49.432	48.698	49.455	49.335	48.312	48.036	48.996
Bovinos Abatidos (CG)		46.819	46.802	47.131	51.044	47.460	46.009	49.989	43.420	46.311
Carne Vendida (ton peso vivo)		21.669	21.413	21.304	23.074	21.680	20.843	22.900	19.654	21.560
Taxa de abate (%)		98,27	83,17	83,01	90,16	84,73	81,77	90,23	77,63	86,93
Taxa de desfrute por kg (%)		127,59	79,62	79,26	91,22	81,97	73,38	96,73	66,90	87,81
Produção de carne (kg/ha)	132,93	550,25	429,93	427,97	492,60	441,79	396,23	506,42	361,28	457,95
Lotação média anual (UA/ha)	0,33	1,37	1,44	1,30	1,22	1,44	1,36	1,45	1,24	1,22
Lotação média anual (CG/ha)	0,69	1,99	2,12	1,93	1,81	2,13	2,02	2,13	1,90	1,77

Um resumo dos resultados obtidos segue abaixo.

**Tabela 95: Média de principais indicadores**

Indicadores*	
Área ocupada (pasto e destilaria) (ha)	56.988
Carne produzida (kg PV/ha/ano)	451,60
Carne produzida (kg PV/UA/ano)	337,44
Total de carne vendida <sup>1</sup> (t)	194.096
Total de carne produzida <sup>1</sup> (t)	117.821
Produção equivalente extensivo <sup>2</sup> (t)	77.549
Carne produzida a mais <sup>1</sup> (t)	40.272
Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)	4.475
Rentabilidade operacional (R\$/ha/ano)	534,34
Rentabilidade com custo terra (R\$/ha/ano)	360,43
Ocupação (UA/ha) <sup>3</sup>	1,34
Ocupação (CG/ha) <sup>3</sup>	1,98
Idade média de abate (meses)	26,2

\* Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido à estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Estimativa de produção de carne em peso vivo para manejo extensivo na área ocupada pela destilaria + pasto

<sup>3</sup> Referente apenas à região de pasto

O desempenho obtido indica que a integração deve trazer grandes benefícios para o negócio pecuário. Em particular, é importante ressaltar que a integração pode trazer benefícios para a redução da área total de pecuária no Brasil. Esta afirmação se sustenta pela produção de carne expressivamente maior com o uso da integração, se comparado com a produção bovina tradicional e extensionista.

A ocupação das áreas com maior intensidade (1,34 [UA/ha] e 1,98 [CG/ha]) e a redução expressiva da idade média de abate (26,2 meses, contra uma média anterior de 35 meses) são os principais fatores que colaboraram com a expansão da produção de carne.

Considerando a produção anual de carne (em peso vivo) do manejo extensivo (8.617 [t/ano]) para a área referente ao pasto em conjunto com a área da destilaria (56.988 [ha]), seria necessária uma área adicional de 29.597 [ha] (com o mesmo tipo de manejo) para obter a produção anual de carne da integração. Isto indica que a instalação da destilaria na região produziria um 'encolhimento' da área necessária de pasto de 29.597 [ha], considerando que não haverá mudança na produção de carne.

### **2.7.5.3 Estudo 2<sup>51</sup>**

O segundo estudo apresentado neste trabalho consiste na quantificação do valor do bagaço como fonte de combustível para produção de energia elétrica frente à opção de utilizá-lo como ingrediente na composição de rações para bovinos (TEIXEIRA).

---

51 Com contribuições de Marina Dias, Engenheira de Processos do CTBE.

O bagaço de cana-de-açúcar *in natura* é um alimento fibroso que pode ser utilizado na composição de ração para bovinos. Todavia, seu valor nutritivo é baixo devido às ligações que ocorrem entre a celulose, hemicelulose e lignina. Faz-se necessário algum tratamento que produza o rompimento desta estrutura fibrosa.

Dentre os métodos existentes, os que são usados em escala são tratamentos químicos com hidróxido de sódio, amônia e uréia e tratamento físico com vapor sob pressão, sendo este último o método que será analisado no estudo.

### Consumo de vapor

A utilização de um método físico, a base de vapor sob pressão, para tratamento do bagaço tem como consequência uma mudança no equilíbrio do sistema de cogeração da destilaria. Este novo processo deve ser contabilizado como um agente de consumo do vapor.

O equipamento responsável por este processo é conhecido como hidrolisador. Para este estudo foram usadas as informações técnicas providas pela "Caldema Equipamento Industriais Ltda."

**Tabela 96: Configuração do hidrolisador**

	<b>Hidrolisador 5m<sup>3</sup></b>
<b>Alimentação de vapor</b>	
Vazão Pico (kg/h)	11.700
Vazão média de pressurização (kg/h)	10.200
Consumo médio de regime (kg/h)	1.500
Temperatura (°C)	206 / 300
<b>Produção máxima de bagaço hidrolisado</b>	
Capacidade (kg/h)	3.400
<b>Dados do hidrolisador</b>	
Peso cheio de água (kg)	10.600
Peso em regime (kg)	5.620
Peso vazio (kg)	4.800
<b>Pressões</b>	
Operação (kgf/cm <sup>2</sup> )	17
Projeto (kgf/cm <sup>2</sup> )	20,6
Teste de hidrolisador (kgf/cm <sup>2</sup> )	30,6
<b>Temperatura de projeto (°C)</b>	<b>350</b>

A partir destes indicadores operacionais e das informações da destilaria padrão, foi possível simular as condições de desempenho da destilaria conforme o nível de produção de bagaço hidrolisado. Outras configurações de cogeração para a destilaria, também foram avaliadas. Estas simulações foram conduzidas pela Marina Dias, Engenheira de Processos do CTBE e são apresentadas na tabela a seguir.

**Tabela 97: Simulação da cogeração da destilaria padrão com a produção de bagaço hidrolisado**

Cenário	Produção de AEAC (m <sup>3</sup> /dia)	EE excedente (MW)	Bagaço para ração (t/h)	Bagaço excedente (t/h)	EE exc (kWh/TC)	Bagaço para ração (kg/TC)	Total de bagaço para ração (t)	EE exc total (MWh)
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 12 % fibras	1001	4,7	1,8	0,0	9,35	3,66	7.316	18.700
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 12 % fibras	1001	4,7	0,0	2,2	9,33	0,00		18.663
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	4,8	14,0	4,7	9,70	28,00	56.000	19.394
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	4,8	10,0	9,4	9,66	19,99	39.989	19.313
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	4,8	7,1	12,8	9,63	14,28	28.564	19.256
Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	4,8	0,0	21,3	9,56	0,00		19.113
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 12 % fibras	1001	23,5	2,0	0,0	47,03	4,00	7.999	94.065
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 12 % fibras	1001	23,5	0,0	2,4	46,91	0,00		93.823
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	24,1	14,0	5,0	48,19	28,00	56.000	96.383
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	24,0	10,0	9,7	47,95	19,99	39.989	95.899
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	23,9	7,1	13,1	47,78	14,28	28.564	95.553
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	23,8	4,3	16,5	47,60	8,57	17.138	95.207
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	23,7	2,1	19,0	47,47	4,28	8.569	94.948
Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC), cana com 14 % fibras	1066	23,7	0,0	21,5	47,34	0,00		94.689
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	28,2	14,0	0,0	56,36	28,00	56.000	112.728
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	29,4	12,2	0,0	58,71	24,40	48.800	117.425
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	30,9	9,8	0,0	61,90	19,52	39.040	123.792
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	32,5	7,3	0,0	65,08	14,64	29.280	130.160
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	34,1	4,9	0,0	68,26	9,76	19.520	136.527
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	35,7	2,4	0,0	71,45	4,88	9.760	142.894
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 12 %	1001	37,3	0,0	0,0	74,63	0,00		149.262
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	39,7	14,0	0,0	79,33	28,00	56.000	158.664
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	41,4	11,4	0,0	82,74	22,85	45.702	165.486
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	43,2	8,6	0,0	86,47	17,14	34.277	172.940
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	45,1	5,7	0,0	90,20	11,43	22.851	180.394
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	47,0	2,9	0,0	93,92	5,71	11.426	187.848
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	47,4	2,1	0,0	94,86	4,28	8.569	189.712
Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado, cana com 14 %	1066	48,8	0,0	0,0	97,65	0,00		195.302

## Resultados

É possível observar que para as duas configurações sem condensação, "Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC)" e "Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC)", a inclusão do processo com o hidrolisador implica em um ganho na produção de energia elétrica excedente. Isto se deve ao incremento no consumo de vapor de processo, no caso vapor a 17 bar, consumido pelo hidrolisador, e que deve ser gerado a partir de uma extração intermediária de vapor nas turbinas.

Já no caso tecnologicamente mais avançado com "Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado", existe uma perda na produção de energia elétrica excedente. Como existe a possibilidade de condensação, o sistema tem capacidade de queima de todo bagaço excedente. Com a introdução do processo de bagaço hidrolisado, uma parte do bagaço excedente é consumida e, portanto, a disponibilidade para o condensador diminui.

Estipulando uma remuneração de R\$120,00 / MWh, é possível verificar qual a diferença na receita da energia elétrica com sem a produção de bagaço hidrolisado.

**Tabela 98: Custo da produção de bagaço hidrolisado**

Item anual	Caldeira 22 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC)	Caldeira 65 bar, sem condensação, BAU (~500 kg vapor/TC)	Caldeira 90 bar, com condensação, ~340 kg vapor/TC, sistema eletrificado
<b>Cana com 12 % fibras</b>			
Receita sem bagaço hidrolisado (R\$)	2.239.561	11.258.713	17.911.402
Produção máxima de bagaço hidrolisado (t)	7.316	7.999	56.000
Receita com bagaço hidrolisado (R\$)	2.243.972	11.287.764	13.527.352
Diferença de receita (R\$)	4.411	29.050	-4.384.050
Custo de produção (R\$/t) *	-0,60	-3,63	78,29
<b>Cana com 14 % fibras</b>			
Receita sem bagaço hidrolisado (R\$)	2.293.500	11.362.649	23.436.232
Produção máxima de bagaço hidrolisado (t)	56.000	56.000	56.000
Receita com bagaço hidrolisado (R\$)	2.327.268	11.565.990	19.039.656
Diferença de receita (R\$)	33.768	203.341	-4.396.576
Custo de produção (R\$/t) *	-0,60	-3,63	78,51

\* Valores negativos indicam um ganho de receita com a produção de bagaço hidrolisado

No contexto dos estudos apresentados neste documento e com base nas definições da destilaria padrão, a produção de bagaço hidrolisado não teria impacto negativo do ponto de vista financeiro para as destilarias.

### 2.7.5.4 Estudo 3

O Estudo 3 visa avaliar variações de cenários a partir do cenário base obtido no Estudo 1. Estas variações buscam ampliar as possibilidades de integração entre a pecuária e a destilaria.

### **2.7.5.5 Estudo 3 - Cenário 1**

O Cenário 1 do Estudo 3 prevê a análise da integração da pecuária com a cana-de-açúcar considerando o preço alternativo do bagaço determinado no Estudo 2, além de analisar diferentes percentuais de bagaço destinados à produção de ração.

Com base no Estudo 2 temos que a produção de bagaço hidrolisado pela destilaria padrão traz benefícios econômicos pela geração extra de energia elétrica excedente. A situação se inverte se considerada configurações mais avançadas de cogeração nas destilarias e/ou usinas.

Sendo assim, analisaremos as variações de disponibilidade para a destilaria padrão, acrescentando um ganho financeiro de R\$0,60 por ton de bagaço hidrolisado produzido.

A tabela a seguir apresenta os principais indicadores pecuários para cada variação de disponibilidade analisada.

**Tabela 99: Variação dos indicadores pecuários conforme a disponibilidade de bagaço**

Indicadores*	Disponibilidade de bagaço									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
<b>Área ocupada (pasto e destilaria) (ha)</b>	31.092	34.184	37.276	40.368	43.460	46.552	49.644	52.394	54.587	56.989
<b>Carne produzida (kg PV/ha/ano)</b>	456,57	456,57	456,57	456,57	456,57	456,57	456,57	456,67	455,86	451,20
<b>Carne produzida (kg PV/UA/ano)</b>	349,09	349,09	349,09	349,09	349,09	349,09	349,09	349,88	343,11	338,57
<b>Total de carne vendida <sup>1</sup> (t)</b>	21.158	42.316	63.474	84.632	105.790	126.948	148.106	167.568	181.888	194.244
<b>Total de carne produzida <sup>1</sup> (t)</b>	12.705	25.410	38.115	50.821	63.526	76.231	88.937	100.261	109.079	117.716
<b>Produção equivalente extensivo <sup>2</sup> (t)</b>	42.310	46.518	50.725	54.933	59.140	63.348	67.555	71.298	74.282	77.550
<b>Carne produzida a mais <sup>1</sup> (t)</b>	-29.605	-21.107	-12.609	-4.112	4.386	12.884	21.381	28.963	34.798	40.166
<b>Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)</b>	-3.289	-2.345	-1.401	-457	487	1.436	2.376	3.218	3.866	4.463
<b>Rentabilidade operacional (R\$/ha/ano)</b>	567,45	567,45	567,45	567,45	567,45	567,45	567,45	567,14	555,26	535,55
<b>Rentabilidade com custo terra (R\$/ha/ano)</b>	393,53	393,53	393,53	393,53	393,53	393,53	393,53	393,23	381,35	361,63
<b>Ocupação (UA/ha) <sup>3</sup></b>	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,33	1,33
<b>Ocupação (CG/ha) <sup>3</sup></b>	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,95	1,98	1,97
<b>Idade média de abate (meses)</b>	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,6	25,9	26,1

Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido a estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Estimativa de produção de carne em peso vivo para manejo extensivo na área ocupada pela destilaria + pasto

<sup>3</sup> Referente apenas à região de pasto

Os resultados acima evidenciam que o uso de bagaço hidrolisado, em qualquer volume, traz resultados positivos para a pecuária. No entanto, é apenas a partir de 5% de bagaço disponibilizado que encontramos ganhos suficientes de produção de carne em comparação com o manejo extensivo para que a instalação de uma destilaria resulte em um ganho de produção de carne, se comparado à utilização de pecuária extensiva por toda área disponível. Este mesmo resultado já fora detectado no trabalho anteriormente desenvolvido para o CTBE.

O gráfico a seguir apresenta a ocupação total de área (destilaria e pasto) e a diferença de produção de carne anual entre o manejo integrado e extensivo de acordo com a disponibilidade de bagaço.

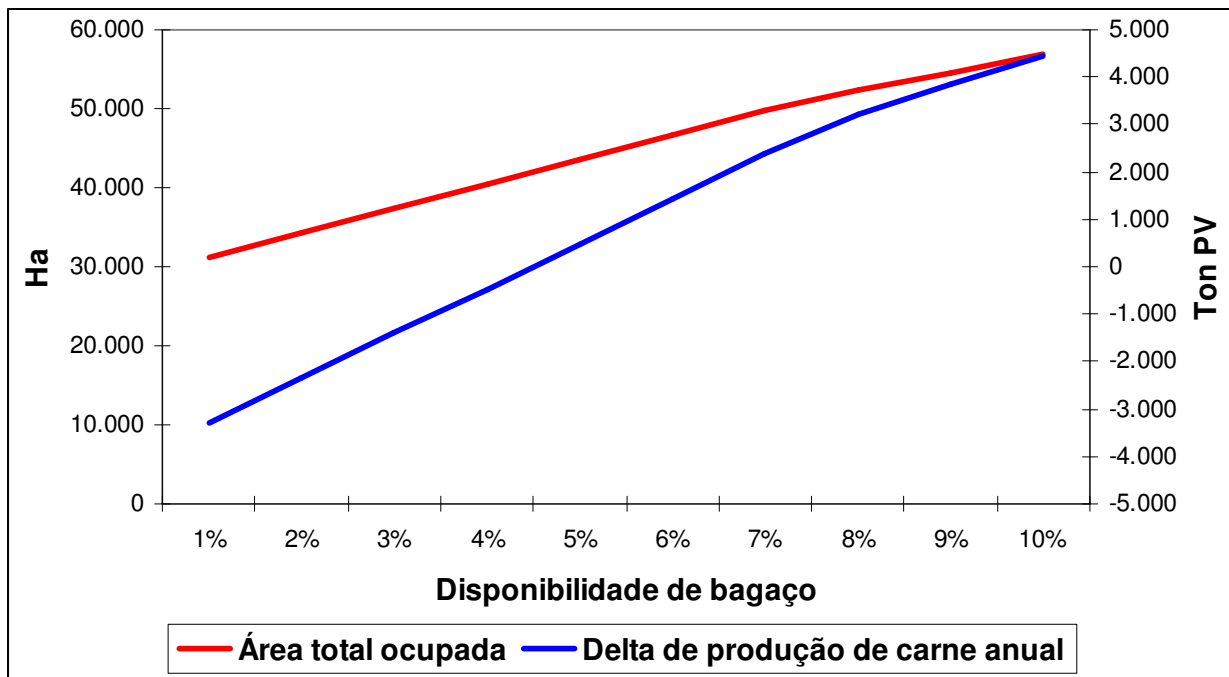


Figura 118: Variação da área ocupada e produção de carne conforme disponibilidade de bagaço

### 2.7.5.6 Estudo 3 - Cenário 2

O Cenário 2 do Estudo 3 prevê a ampliação do Cenário 1 considerando ciclos de recria e engorda diversos, em especial permitindo até 3 ciclos de engorda ao longo do ano. Para atender a este requisito, os meses de possível confinamento serão estendidos, podendo iniciar ciclos de confinamento a partir de março e terminar em novembro.

De maneira semelhante ao Cenário 1 serão avaliados os resultados para as variações de disponibilidade de bagaço, variando de 1% até 10%.



## Resultados

O novo cenário estudado amplia as possibilidades de manejo para o modelo de decisão. Com uma maior flexibilidade para o uso de confinamentos, diversos indicadores apresentaram melhorias, como uma maior intensificação do pasto e melhores resultados financeiros. A tabela abaixo apresenta os principais indicadores deste novo cenário.

**Tabela 100: Variação dos indicadores pecuários conforme disponibilidade de bagaço com custo de oportunidade**

Indicadores*	Disponibilidade de bagaço									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Área ocupada (pasto e destilaria) (ha)	30.952	33.903	36.855	39.807	42.758	45.710	48.661	51.337	53.897	56.457
Carne produzida (kg PV/ha/ano)	483,17	483,17	483,17	483,17	483,17	483,17	483,17	480,61	470,74	459,42
Carne produzida (kg PV/UA/ano)	362,19	362,19	362,19	362,19	362,19	362,19	362,19	358,82	350,57	342,48
Total de carne vendida <sup>1</sup> (t)	21.415	42.830	64.245	85.660	107.074	128.489	149.904	167.938	181.572	193.751
Total de carne produzida <sup>1</sup> (t)	12.835	25.671	38.506	51.341	64.176	77.012	89.847	100.946	109.716	117.661
Produção equivalente extensivo <sup>2</sup> (t)	42.119	46.136	50.152	54.169	58.185	62.202	66.218	69.860	73.343	76.826
Carne produzida a mais <sup>1</sup> (t)	-29.284	-20.465	-11.646	-2.828	5.991	14.810	23.629	31.087	36.373	40.835
Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)	-3.254	-2.274	-1.294	-314	666	1.646	2.625	3.454	4.041	4.537
Rentabilidade operacional (R\$/ha/ano)	641,93	641,93	641,93	641,93	641,93	641,93	641,93	628,81	603,50	577,44
Rentabilidade com custo terra (R\$/ha/ano)	468,02	468,02	468,02	468,02	468,02	468,02	468,02	454,90	429,59	403,53
Ocupação (UA/ha) <sup>3</sup>	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,34	1,34	1,34
Ocupação (CG/ha) <sup>3</sup>	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,02	2,00
Idade média de abate (meses)	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,6	26,0	26,3

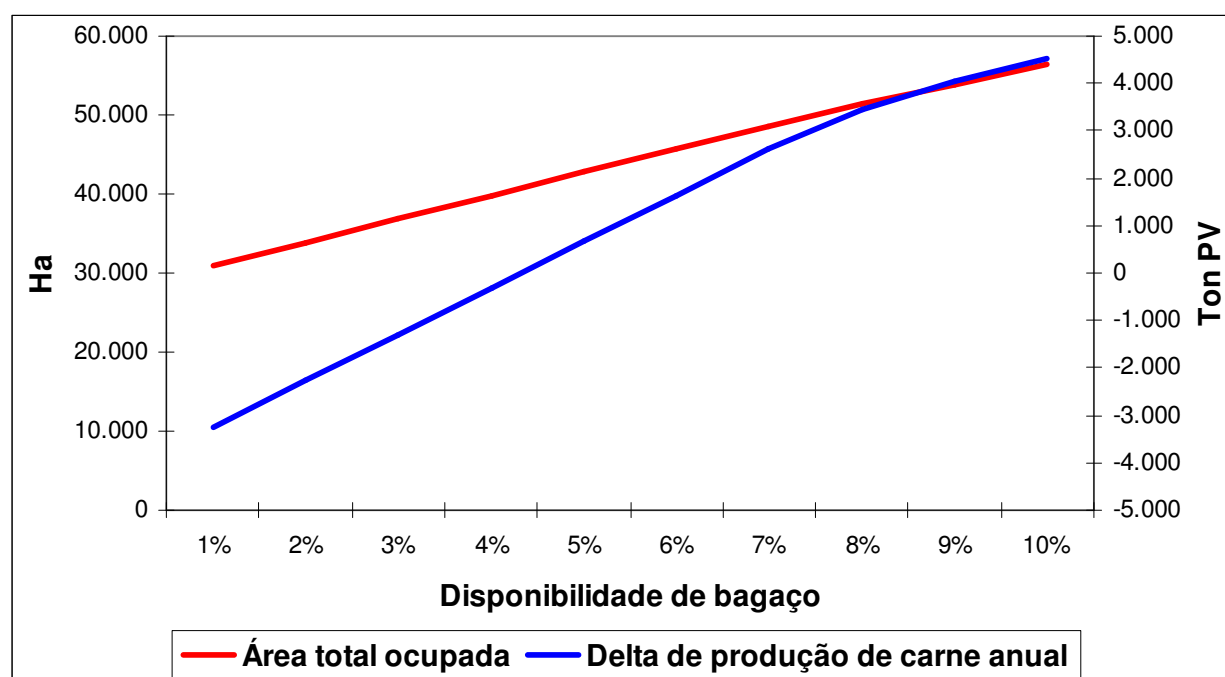
Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido a estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Estimativa de produção de carne em peso vivo para manejo extensivo na área ocupada pela destilaria + pasto

<sup>3</sup> Referente apenas à região de pasto

De maneira semelhante ao Cenário 1, é possível obter ganhos na produção de carne a partir de 5% de bagaço disponibilizado, conforme apresentado no gráfico abaixo.



**Figura 119: Variação da ocupação e produção de carne conforme disponibilidade de bagaço com custo oportunidade**

Comparando o cenário de maior disponibilidade (10% do total de bagaço gerado), podemos observar que a flexibilização do uso do confinamento permite melhorias nos principais indicadores observados, conforme tabela abaixo.

**Tabela 101: Comparação de indicadores pecuários dos cenários 1 e 2**

Indicadores*	Cenário 1	Cenário 2
Área ocupada (pasto e destilaria) (ha)	56.989	56.457
Carne produzida (kg PV/ha/ano)	451,20	459,42
Carne produzida (kg PV/UA/ano)	338,57	342,48
Total de carne vendida <sup>1</sup> (t)	194.244	193.751
Total de carne produzida <sup>1</sup> (t)	117.716	117.661
Produção equivalente extensivo <sup>2</sup> (t)	77.550	76.826
Carne produzida a mais <sup>1</sup> (t)	40.166	40.835
Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)	4.463	4.537
Rentabilidade operacional (R\$/ha/ano)	535,55	577,44
Rentabilidade com custo terra (R\$/ha/ano)	361,63	403,53
Ocupação (UA/ha) <sup>3</sup>	1,33	1,34
Ocupação (CG/ha) <sup>3</sup>	1,97	2,00
Idade média de abate (meses)	26,1	26,3

Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido à estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Estimativa de produção de carne em peso vivo para manejo extensivo na área ocupada pela destilaria + pasto

<sup>3</sup> Referente apenas à região de pasto

### **2.7.5.7 Estudo 3 - Cenário 3**

O objetivo do Cenário 3 do Estudo 3 é verificar as possibilidades de ganhos com a utilização de fertilizantes para a melhoria do pasto.

O uso de fertilizantes tem como objetivo incrementar a produção de massa seca do pasto, incrementando a sua capacidade de suporte, possibilitando uma produção de carne mais intensificada, tanto no período de seca, quanto no período de chuvas. Também é possível melhorar o ganho de peso diário dos bovinos, especialmente na época de seca, em que normalmente há menor disponibilidade de massa seca para os bovinos.

No entanto, o potencial de ganhos com o uso dos fertilizantes é incerto, já que os requerimentos dos principais macronutrientes (nitrogênio, potássio e fósforo), macronutrientes secundários e micronutrientes são variáveis conforme o tipo de planta em uso, o tipo de solo da região, as condições climáticas, o grau de intensificação visado, etc.

Dadas estas considerações, a análise realizada nesta seção do cenário de integração pecuária com cana-de-açúcar busca avaliar qual o gasto máximo que deverá ser investido com fertilizantes para uma maior intensificação do pasto. A partir deste valor será possível avaliar a viabilidade desta alternativa de manejo de pasto. As premissas utilizadas para o Cenário 2 serão usadas como base para este novo cenário e a disponibilidade de bagaço será fixada em 10%

A análise se dará da seguinte maneira: a taxa de ocupação média de pasto nos cenários anteriores foi definida como 1,2[UA/ha]. Esta taxa será modificada para um valor de ocupação mais intensivo, porém sem um custo adicional por esta intensificação. Esta intensificação gera ganhos financeiros, devido ao menor uso de terra. Estes ganhos financeiros serão servidos com um "break even" para o uso de técnicas de intensificação, ou seja, se atribuirmos um custo de intensificação igual aos ganhos financeiros encontrados, a margem obtida seria igual ao do nível de ocupação original. A situação desejada é que os ganhos gerados pela intensificação sejam suficientes para cobrir os custos dos mesmos.

### **Resultados**

Foi possível verificar que incrementos na taxa de ocupação média de pasto geram melhorias expressivas nos diversos indicadores, entre eles os financeiros. A tabela a seguir apresenta os resultados para os diferentes níveis de ocupação de pasto.

**Tabela 102: Variação dos indicadores pecuários conforme variação de média de ocupação de pasto**

Indicadores*	Média de ocupação de pasto					
	1,2	1,5	2	3	5	8
Área ocupada total (ha)	56.457	51.014	45.842	40.363	36.391	33.603
Área ocupada pasto (ha)	28.457	23.014	17.842	12.363	8.391	5.603
Participação de manejo intensivo (%)	84,6%	84,5%	84,2%	83,3%	80,3%	78,9%
Participação de manejo semi-intensivo (%)	15,4%	15,5%	15,8%	16,7%	19,7%	21,1%
Ocupação (UA/ha) <sup>2</sup>	1,34	1,67	2,18	3,18	4,87	7,38
Ocupação (CG/ha) <sup>2</sup>	2,00	2,48	3,24	4,73	7,21	10,93
Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)	4.537	5.394	6.203	7.047	7.907	8.393
Gasto máximo com intensificação do pasto (R\$/ha/ano)	-	68,47	178,34	392,75	749,34	1.280,43

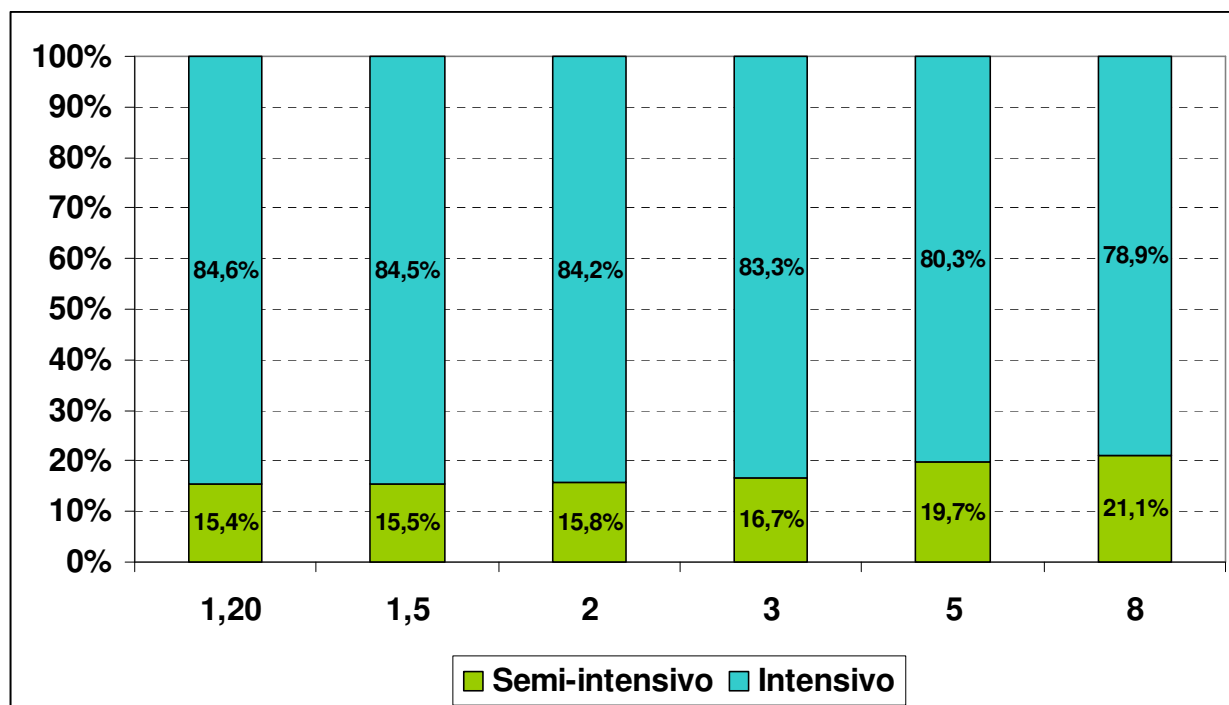
\* Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido à estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Referente apenas à região de pasto

Como esperado, existe uma queda significativa na área ocupada conforme há um incremento na taxa média de ocupação de pasto. Esta queda tem um reflexo direto na produção excedente de carne anual, pois a comparação é feita com a área total ocupada.

Também é possível observar uma variação nas participações de cada manejo conforme há variação de taxa média de ocupação. Os resultados indicam que quanto maior a intensificação, melhor o desempenho do manejo semi-intensivo. Veja o gráfico abaixo.



**Figura 120: Variação da participação dos manejos conforme variação da taxa média de ocupação de pasto.**

Os ganhos financeiros devido à redução da área ocupada de pasto com a intensificação do uso do mesmo geram uma receita adicional que deve ser comparada com os gastos para elevar o nível de intensificação do cenário original (1,2[UA/ha]) para os valores avaliados (1,5[UA/ha], 2[UA/ha], 3[UA/ha], 5[UA/ha] e 8[UA/ha]).

Apesar do esforço para gerar os níveis de intensificação mais elevados, o gasto máximo com intensificação de pasto é compatível com valores encontrados na literatura.

### **2.7.5.8 Estudo 3 - Cenário 4**

No Cenário 4 do Estudo 3 será verificada a possibilidade de compra de insumos para complementar os produzidos via integração.

A compra de insumos de terceiros incrementa a disponibilidade total ao longo do horizonte, possibilitado um maior uso de ração para os manejos intensivos e semi-intensivos.

No entanto, a análise deste cenário implica em uma avaliação que não leva em conta as áreas ocupadas para a produção destes insumos, como, por exemplo, o uso de terras para a produção de milho e/ou soja. Sem a contabilização destas áreas, a comparação da produção de carne no sistema integrado e extensivo é injusta e desfavorável ao manejo extensivo. Esta consideração deve ser levada em conta quando verificando os resultados deste estudo. Uma análise de emissões de GEE para este cenário também deverá incorporar as emissões estimadas de terceiros.

Os insumos disponibilizados são "Milho grão" e "Farelo de soja". O histórico de preços destes insumos foi levantado junto ao CEPEA (2010c e 2010d), sendo que o

preço do milho foi extrapolado para os anos de 2000, 2001, 2002 e 2003 através das variações dos preços da soja.

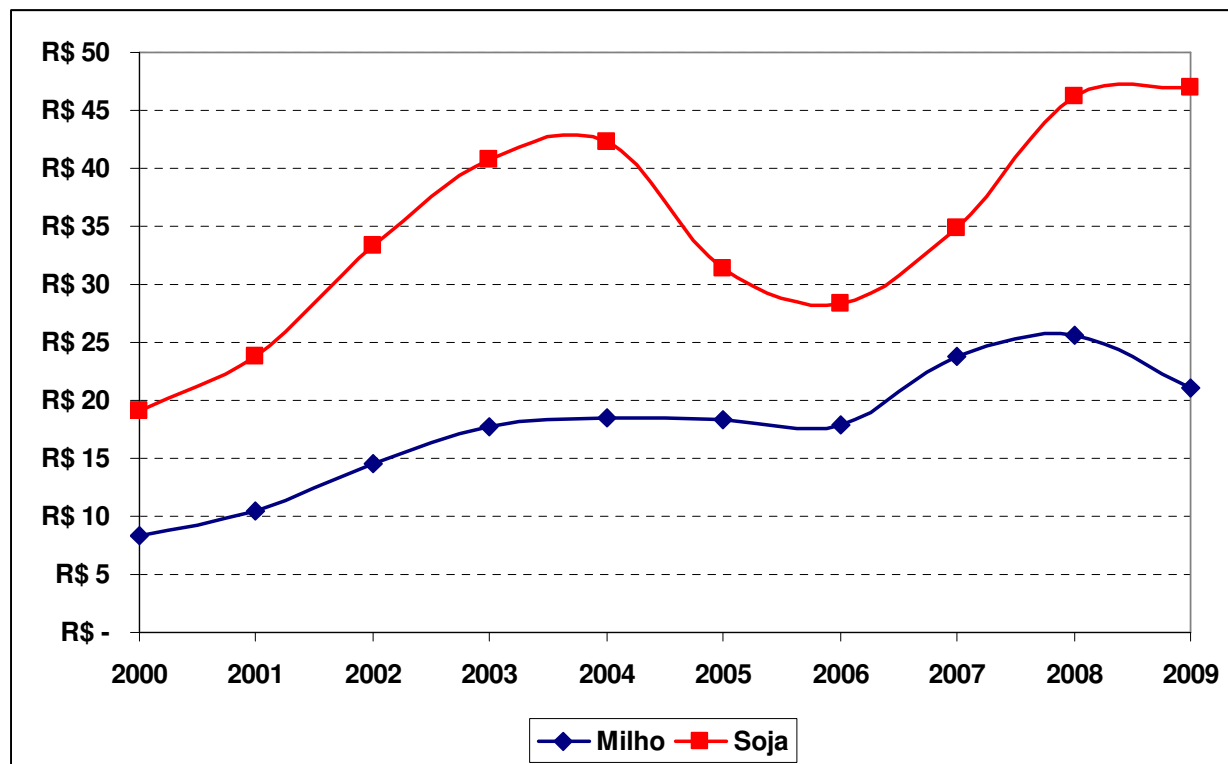


Figura 121: Custo de aquisição de insumos de terceiros

## Resultados

O modelo optou pela aquisição de insumos de terceiros disponíveis ao longo do horizonte. As quantidades de "Milho grão" e "Farelo de soja" adquiridos a partir de 2002 são estáveis, pois o gargalo para a produção de mais ração para confinamento passa a ser a levedura úmida.

Tabela 103: Consumo anual de insumos de terceiros

Consumo Anual	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Milho grão (t)	-	-	337	337	337	337	337	337	337	337
Farelo de soja (t)	-	8	114	114	114	114	114	114	114	114

Esta aquisição possibilitou um acréscimo no número de animais confinados durante o período e, conseqüentemente, houve um pequeno aumento da média de ocupação. Retornos financeiros também foram percebidos. A tabela abaixo compara o Cenário 2 com o novo cenário com disponibilidade de compra de insumos de terceiros, Cenário 4.

**Tabela 104: Comparação do cenário 2 e cenário 4**

Indicadores*	Cenário 2	Cenário 4
Área ocupada (pasto e destilaria) (ha)	56.989	56.563
Carne produzida (kg PV/ha/ano)	451,20	463,87
Carne produzida (kg PV/UA/ano)	338,57	345,42
Total de carne vendida <sup>1</sup> (t)	194.244	196.616
Total de carne produzida <sup>1</sup> (t)	117.716	119.247
Produção equivalente extensivo <sup>2</sup> (t)	77.550	76.971
Carne produzida a mais <sup>1</sup> (t)	40.166	42.276
Carne excedente anual <sup>1</sup> (t/ano)	4.463	4.697
Rentabilidade operacional (R\$/ha/ano)	535,55	580,83
Rentabilidade com custo terra (R\$/ha/ano)	361,63	406,92
Ocupação (UA/ha) <sup>3</sup>	1,33	1,34
Ocupação (CG/ha) <sup>3</sup>	1,97	2,01
Idade média de abate (meses)	26,1	26,2

Os indicadores foram apurados a partir do 2º ano do horizonte, devido à estabilização de rebanho

<sup>1</sup> Produção de carne em peso vivo

<sup>2</sup> Estimativa de produção de carne em peso vivo para manejo extensivo na área ocupada pela destilaria + pasto

<sup>3</sup> Referente apenas à região de pasto

### 2.7.6 Modelo Matemático para manejo bovino

Um modelo matemático voltado para a determinação do manejo pecuário de recria e engorda foi desenvolvido para o projeto de sustentabilidade do CGEE (2009c). Este modelo tinha como objetivo definir o melhor manejo possível para lotes disponíveis numa área pré-determinada, de acordo com custos de aquisição de bezerros e o seu manejo, preço de venda do boi gordo, curvas de crescimento, taxas de capacidade, mortalidade entre outros.

Para o desenvolvimento dos estudos apresentados neste relatório este modelo matemático foi expandido para incluir diversos conceitos, entre eles o mais importante sendo a determinação ótima da área de integração da pecuária com as atividades relativas à indústria de cana-de-açúcar.

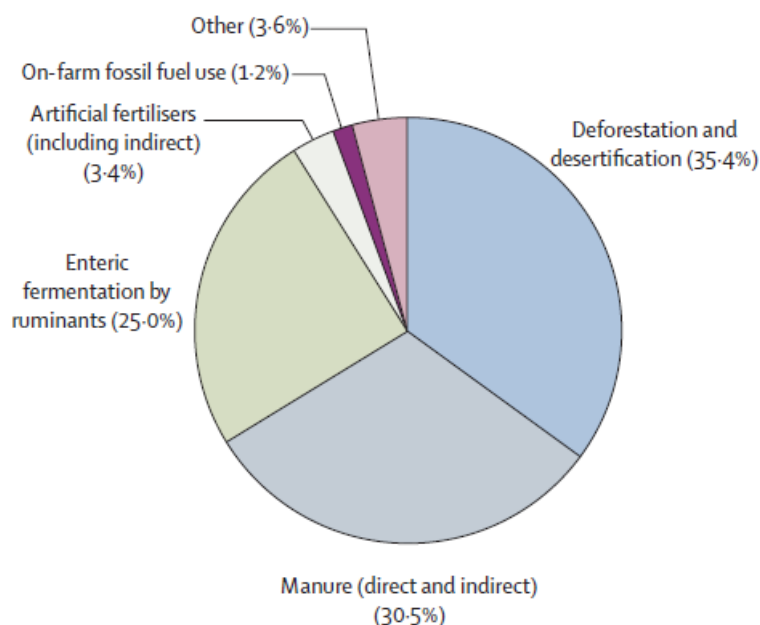
Este modelo foi desenvolvido na linguagem algébrica AIMMS, tendo sua estrutura de variáveis, parâmetros, restrições e objetivos já completa, embora, no detalhamento e variações de algum estudo, possa ser alterada. Aliás, é esta a versatilidade da metodologia proposta.

### 2.7.7 Avaliação das emissões de gases de efeito estufa

Estima-se que a agricultura e a mudança do uso da terra e florestas sejam responsáveis por 35% das emissões antrópicas globais de gases de efeito estufa (GEE)<sup>52</sup> (McMichael et al., 2007). Uma boa parte destas emissões está relacionada à atividade da pecuária, que contribui, de forma geral, com 18% das emissões globais (FAO, 2006). As fontes de emissão da pecuária incluem o desmatamento,

<sup>52</sup> Segundo o Fourth Assessment Report do IPCC, em 2004 a agricultura e a mudança do uso da terra e florestas foram responsáveis por pouco mais de 30% das emissões antrópicas globais de GEE, que totalizaram 49 Gt CO<sub>2</sub>eq.

as perdas de estoques de carbono no solo, o uso de energia para a produção, processamento e transporte de grãos para alimentação de rebanhos e da carne produzida, o óxido nitroso derivado da aplicação de fertilizantes nitrogenados e os gases provenientes dos dejetos e da fermentação entérica dos animais. No total, estas fontes representam 9% de toda a emissão global de CO<sub>2</sub>, 35-40% do metano e 65% do N<sub>2</sub>O (McMichael et al., 2007).



**Figura 122: Perfil das emissões de GEE relacionadas à pecuária (FAO, 2006 apud McMichael et al., 2007)**

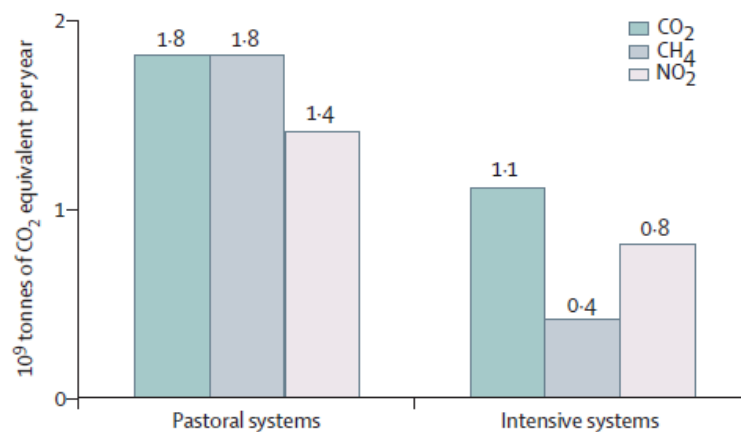
No caso do Brasil, Bustamante et al. (2009) estimaram as emissões de GEE vinculadas à pecuária bovina no período entre 2003 e 2008, considerando as suas três fontes principais: desmatamento para formação de pastagem e queimadas subseqüentes da vegetação derrubada; queimadas de pastagem; e fermentação entérica do gado. Os autores estimam que neste período, as emissões variaram entre aproximadamente 813 Mt CO<sub>2</sub>eq (em 2008) e 1090 Mt CO<sub>2</sub>eq (em 2003). Considerando as mais recentes estimativas a respeito do total das emissões do país – e.g., 2,2 Gt CO<sub>2</sub>eq (MCT, 2009) e 2 Gt CO<sub>2</sub>eq (Cerri et al., 2009) – nota-se que o conjunto das emissões oriundas desta atividade responde por aproximadamente metade das emissões brasileiras, mesmo sem considerar as outras fontes de emissão relacionadas à atividade da pecuária.

Em termos específicos, Cederberg et al. (2009) estimam que são emitidos cerca de 28 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de carcaça produzida no Brasil, com uma participação desprezível de fontes relacionadas ao uso de energia e produção de insumos. Esta estimativa não leva em conta as emissões decorrentes da mudança do uso da terra e florestas, as quais podem impactar significativamente as emissões da pecuária, já que existe uma relação entre o desmatamento e a expansão das áreas de pastagem no Brasil (conforme estimado acima). A criação de gado no país é uma prática extensiva, que se dá essencialmente de modo contínuo em pasto durante todo o ano. Com exceção de uma pequena parcela que é mantida em sistemas de confinamento, o gado se alimenta predominantemente em pastagens nativas e cultivadas. A área de pasto no país está em torno de 170 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 100 milhões são plantados e 70 milhões são nativos. A



produtividade vem crescendo consideravelmente, e tal intensificação é a principal razão do recente crescimento da produção de gado no país.

Mas a degradação das pastagens, causada por métodos inadequados de manejo e falta de fertilização corretiva e manutenção, é um grave problema da agricultura brasileira. A extensão dessa degradação é incerta, mas é possível que cerca de metade dos pastos cultivados esteja em algum estágio de degradação (Cederberg et al., 2009). Nesse contexto, o sistema produtivo pecuário brasileiro precisa ser reestruturado (FBDS, 2009). Um manejo adequado de gado e pastagens depende de um aumento da produtividade do solo, da prevenção a desmatamentos e de tornar o sistema mais sustentável. O uso de áreas ocupadas por pastos degradados para o cultivo de outras culturas pode reduzir a competição por áreas para a produção de alimentos e, inclusive, para a produção de biocombustíveis. Muito embora existam avaliações contraditórias, a intensificação das pastagens ainda pode contribuir significativamente para a redução das emissões de GEE. Um estudo da FAO (FAO, 2006) mostra que, em termos absolutos, as emissões totais de GEE de métodos de produção intensivos (baseados na alimentação com grãos) são bem inferiores às de sistemas extensivos (baseados em pastagens).

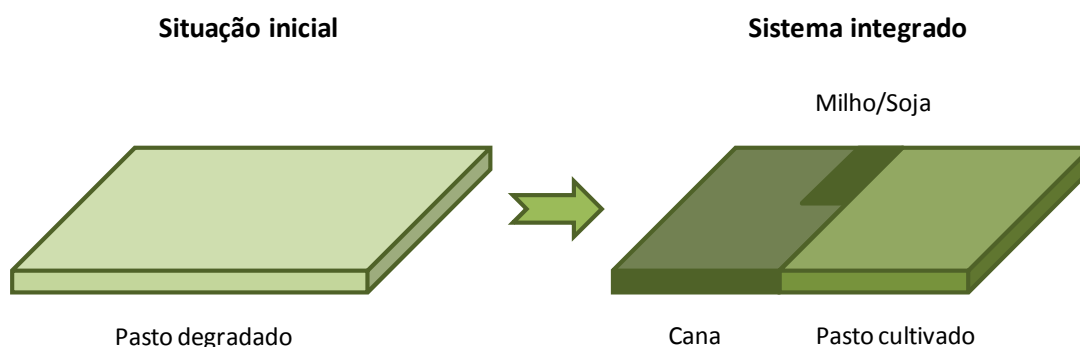


**Figura 123: Contribuição de sistemas de pecuária extensiva (pastagem) e intensiva (alimentação suplementar, incluindo confinamento) para as emissões de GEE (McMichael et al., 2007)**

Diante disso, a integração das pastagens com outras culturas se mostra como uma opção de interesse para o aumento da produtividade, redução da necessidade por áreas e possíveis redução de emissões de GEE. Carvalho (2010), por exemplo, investigou a dinâmica do carbono e fluxo de GEE em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado, e observou que a implantação desses sistemas em áreas sob sucessão de cultivos aumentou os estoques de carbono no solo, com taxas variando de 0,82 a 2,58 Mg/ha.ano. Considerando o balanço total de GEE, a conversão de área sob sucessão de cultivos para integração lavoura-pecuária (ambos com plantio direto) ainda resulta em seqüestro de carbono pelo solo, chegando a 1,05 Mg Ceq/ha.ano quando se aplica manejo químico sem revolvimento de solo.

No trabalho desenvolvido aqui, foi realizado um exercício para estimar o impacto nas emissões de GEE da integração da produção de cana e pecuária, com base nas avaliações do Estudo 1 apresentado acima. Para isso, foram calculadas as emissões de GEE associadas à produção do etanol e do boi gordo provenientes deste sistema, assumindo-se a substituição de uma pastagem degradada (situação freqüente nas áreas de expansão da cana no Centro-Sul do País) pelo sistema integrado. Neste sistema, soja e milho seriam cultivados em 60% da área de renovação do canavial,

enquanto que o pasto cultivado ocuparia uma área de praticamente mesmo tamanho do canavial. A soja seria transportada até uma unidade de extração de óleo, e o farelo produzido retornaria ao sistema para ser utilizado, juntamente com o milho, bagaço e demais insumos, na composição da ração.



**Figura 124: Substituição de uma área de pasto degradado pelo sistema integrado.**

Os parâmetros da produção e processamento da cana (insumos, uso de energia, etc.) utilizados nesta avaliação representam as médias do Centro-Sul do Brasil (CGEE, 2009c), porém assumindo-se que 100% da cana seria colhida crua (o que, por força de lei, será prática corrente nos próximos anos). Para o caso da soja foram adotados os valores apresentados por Capaz (2009) e Mourad (2008); para o milho, foram utilizados dados do modelo EBAMM, enquanto que para o pasto cultivado foram adotados os parâmetros indicados por Cederberg et al. (2009) e Vilela et al. (1998). As produtividades e os rendimentos considerados (referentes ao ano de 2009) foram apresentados anteriormente, neste mesmo capítulo.

A avaliação das emissões compreendeu uma análise do "berço ao portão da fábrica", englobando os cultivos da cana, milho, soja e pastagem, processamento da cana a etanol e disponibilização do boi gordo para abate no portão da fazenda. As unidades funcionais adotadas foram:

- Etanol: 1 MJ de etanol (PCI), disponibilizado no portão da usina;
- Boi gordo para abate: 1 kg de carcaça, disponibilizada no portão da fazenda.

Dois níveis de fluxos de energia foram considerados no balanço de emissões: o consumo direto de combustíveis e eletricidade externos; e a energia adicional para a produção de insumos utilizados nos processos agrícolas e industriais (fertilizantes, calcário, ácido sulfúrico, lubrificantes, etc.). A metodologia utilizada para a avaliação dessas emissões foi a mesma descrita no item 3.1 deste relatório.

Além das emissões provenientes do uso de combustíveis, foram também quantificadas as emissões decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados, calcário e dos resíduos retornados ao solo. Para o caso da soja e do milho, foram incluídas as emissões de N<sub>2</sub>O dos resíduos acima e abaixo do solo, estimados conforme a metodologia tier 1 do IPCC (2006). Já para a cana, não foi considerada a parcela de resíduos abaixo do solo. Emissões diretas de N<sub>2</sub>O decorrentes da fixação biológica de nitrogênio promovida pelo cultivo da soja também não foram consideradas, tendo em vista a falta de evidências indicando emissões significativas provenientes deste processo (IPCC, 2006).

As emissões de GEE provenientes do manejo de dejetos também foram estimadas utilizando a metodologia tier 1 do IPCC (2006). Já as emissões de metano da fermentação entérica foram calculadas a partir dos fatores de emissão dados por MCT (2004) para bovinos de corte (Nelore / Zebuínos), na região Sudeste do Brasil (clima Tropical). Os impactos da alteração da dieta nos fatores de emissão não foram considerados neste momento.

As emissões decorrentes da mudança direta do uso da terra (LUC) foram quantificadas com base na metodologia sugerida pelo IPCC (2006), assumindo-se uma depreciação linear da variação dos estoques de carbono no solo<sup>53</sup> por um período de 20 anos. Os estoques de carbono no solo associados a cada cultura é um item crítico nesta análise, para os quais se verifica uma grande incerteza/variação. Apesar de ser um tema extensamente estudado, o uso de diferentes metodologias e variadas condições de análise dificultam uma comparação consistente dos dados. Na análise conduzida aqui foram utilizados os dados apresentados por Amaral et al. (2008), que realizaram um esforço de levantamento e seleção de informações que pudessem ser utilizadas no tipo de comparação pretendida aqui.

**Tabela 105: Valores adotados para estoques de carbono no solo<sup>a</sup>**

<b>Cultura</b>	<b>Estoque de carbono no solo (t C/ha)</b>
Pastagem degradada	41
Pastagem cultivada	52
Cana crua	44
Cana queimada	35

a. Baseado em Amaral et al. (2008).

<sup>53</sup> A variação dos estoques de carbono acima do solo (acumulado na biomassa) não foi considerada nesta análise; vale notar, entretanto, que para o caso da cana o estoque médio de carbono na biomassa é significativo.

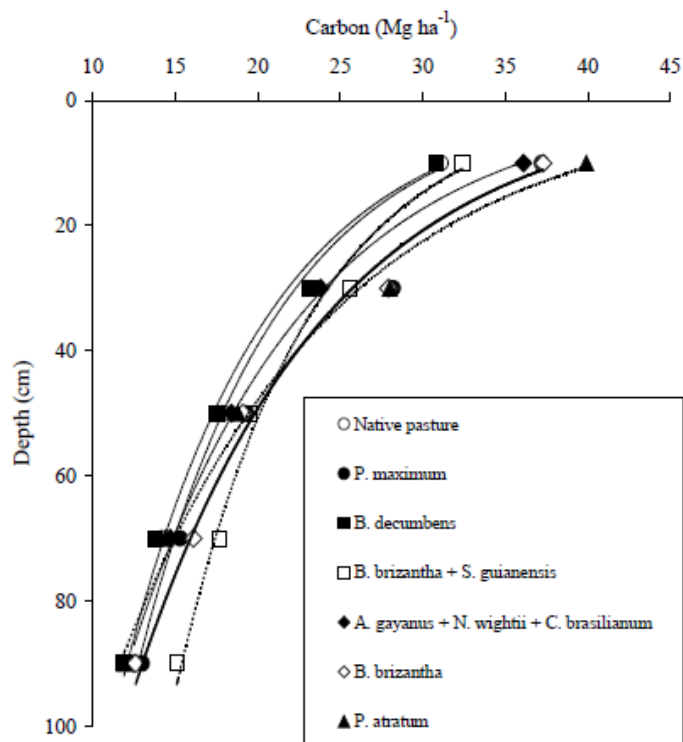


Figura 125: Perfil de distribuição do carbono no solo para diferentes pastos na região do Cerrado brasileiro. (Silva et al., 2004)

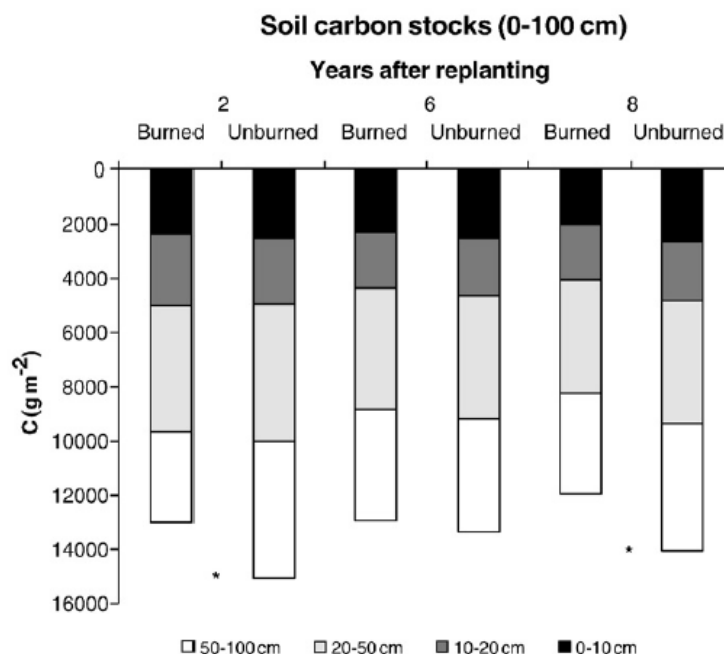


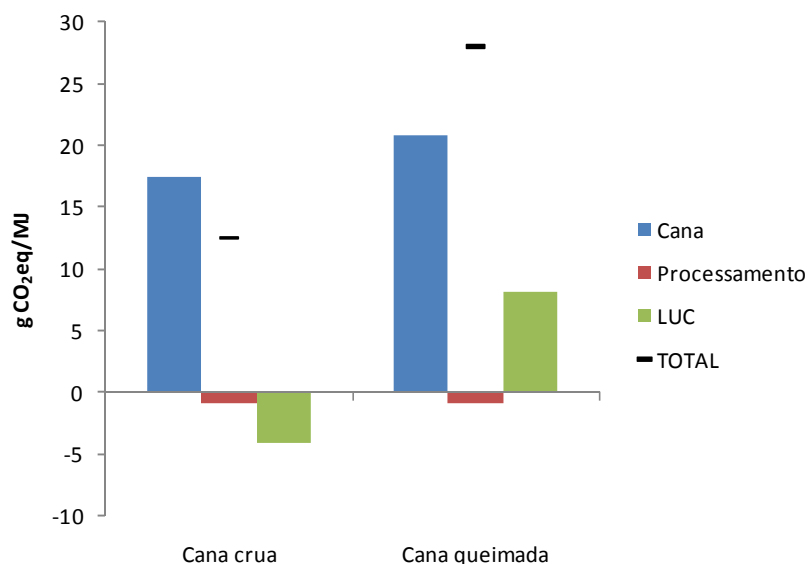
Figura 126: Estoques de carbono no solo em áreas de cana crua e queimada na região de Ribeirão Preto (SP). (Galdos et al., 2009)

Como o sistema analisado envolve a produção de importantes co-produtos (principalmente no caso do etanol), metodologias adequadas devem ser adotadas para tratar a alocação das emissões ou atribuição de créditos. No caso da eletricidade exportada pela destilaria, os créditos foram calculados assumindo-se a substituição da geração de eletricidade em termelétricas a gás natural, conforme

discutido em CGEE (2009c). Já no caso do farelo de soja, um método de alocação baseado na massa dos produtos foi utilizado para alocar as emissões referentes à produção da soja. Quanto à cana, as emissões relativas à sua produção foram alocadas entre o etanol e o bagaço excedente da usina (utilizado como componente da ração para o gado). As emissões foram alocadas ao bagaço excedente de forma proporcional à sua massa dividida pela massa de cana que entra na usina (todos em matéria seca).

Todos os créditos referentes à energia elétrica co-gerada na usina, bem como todas as emissões da etapa de processamento da cana, foram alocados ao etanol. Para o gado, foram consideradas as emissões associadas ao cultivo das pastagens, produção da ração (envolvendo o milho, farelo de soja, bagaço excedente e demais insumos) e as emissões provenientes da fermentação entérica e manejo de resíduos.

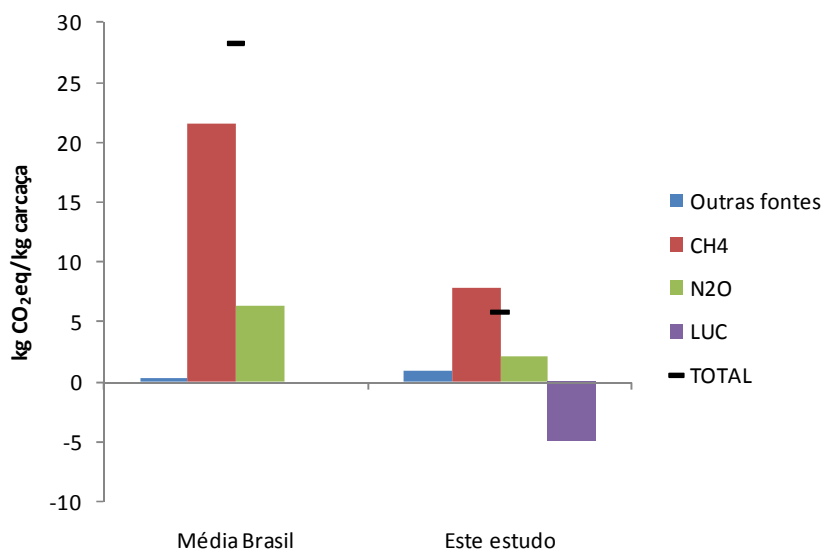
A Figura 127 apresenta os resultados das emissões de GEE para a produção do etanol no sistema estudado. Trata-se de uma estimativa conservadora, já que os estoques de carbono na biomassa não foram considerados (no caso da cana, estes estoques podem atingir um pico superior a 17 t C/ha antes da colheita). Uma comparação é feita para o caso da prática de colheita da cana queimada, para o qual seriam verificadas emissões bem superiores devido principalmente ao menor estoque de carbono associado a este tipo de manejo. À parte do efeito da mudança do uso da terra, as emissões do etanol não são significativamente influenciadas pelo modelo de integração estudado aqui, embora ainda existam possibilidades de redução caso sistemas mais integrados sejam considerados, conforme discutido mais abaixo.



**Figura 127: Emissões de GEE na produção do etanol de cana considerando o sistema integrado com a pecuária**

As emissões de GEE para a produção do boi gordo são apresentadas na Figura 128, juntamente com a estimativa para a média nacional (baseado em grande parte na utilização de pastagens degradadas). A redução da idade média de abate e o aumento do peso médio são as principais razões para os menores valores de emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. O aumento dos estoques de carbono decorrentes da mudança para o sistema integrado com pasto cultivado também reduz as emissões

finais de GEE. É importante notar que neste sistema não só a taxa de ocupação média do pasto é bem superior ao caso de referência, como também a produção de carne, o que eliminaria a necessidade da utilização de novas áreas para a pecuária, apesar da expansão da cultura da cana.



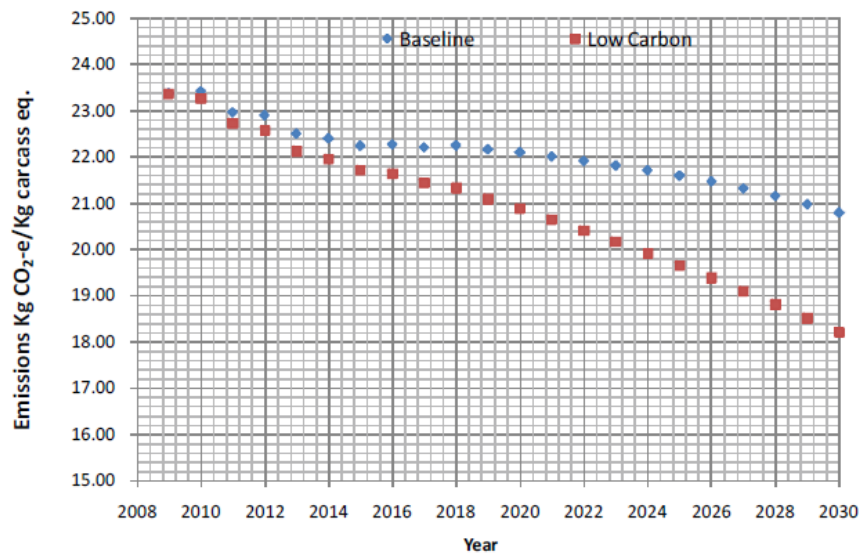
**Figura 128: Emissões de GEE na produção de carne. Média Brasil baseada em Cederberg et al. (2009).**

Através do manejo apropriado dos resíduos, reduções ainda maiores de emissões poderiam ser verificadas tanto para o etanol, quanto para a carne. O aproveitamento dos resíduos para a fertilização da cana pode contribuir para a diminuição do uso de fertilizantes minerais, reduzindo assim, as emissões de GEE. Apenas para ilustrar o potencial dessa contribuição, as emissões associadas à produção e disponibilização do nitrogênio mineral (excluindo as emissões do campo) corresponderam a aproximadamente 13% das emissões relacionadas com a produção e transporte da cana no caso avaliado aqui.

A utilização de sistemas de biodigestão para o tratamento dos dejetos também permitiria a redução das emissões no campo, além da possibilidade do ganho de créditos, caso o gás produzido fosse utilizado em sistemas de geração de energia. Nesse caso, a substituição de cada kWh gerado a partir de termelétricas a gás natural evitaria a emissão de aproximadamente 590 g CO<sub>2</sub>eq (lembrando que as emissões adicionais provenientes dessa atividade devem também ser contabilizadas). No sistema adotado aqui, o excedente de energia elétrica da destilaria foi estimado em 9,7 kWh/t cana (utilizando somente bagaço), o que gera um crédito para o etanol de aproximadamente 3,2 g CO<sub>2</sub>eq/MJ. Vale destacar, no entanto, que se outras biomassas forem utilizadas para a geração de energia elétrica, metodologias de alocação passam a ser mais apropriadas para tratar as emissões dos diferentes co-produtos.

Para o caso da pecuária, estratégias específicas podem ser adotadas visando à redução de emissões. Dado que as emissões de metano representam grande parte das emissões de GEE do setor, opções de mitigação voltadas para o melhoramento genético da forragem (para reduzir a metanogênese) e animais (com menores ciclos de vida e emissões de CH<sub>4</sub>) devem ser exploradas (Goulvello, 2010). Conforme ilustrado na Figura 129, a combinação da forragem melhorada e dos touros geneticamente superiores, juntamente com o aumento da produtividade,

pode reduzir significativamente as emissões relacionadas à pecuária e, conseqüentemente, as emissões do país.



**Figura 129: Emissões de metano por unidade de carne para cenários de referência e de baixo carbono segundo estudo reportado em Goulvello (2010).**

### 2.7.8 Comentários finais

Os sistemas agroindustriais estão incorporando, rapidamente, melhorias de processos operacionais e gerenciais como conseqüência de conhecimentos gerados por novas pesquisas e por novas exigências de mercado e regulação governamental. O tema "sustentabilidade" é hoje discutido em vários ambientes. Um exemplo foi a recente FEICORTE 2010 - 16ª Feira Internacional da Cadeia Produtiva da Carne, cujo tema central foi sustentabilidade. Para esta temática emergem necessidades de novos métodos de planejamento de cadeias produtivas fortemente integradas. Questões associadas à rotação de culturas, integração lavoura-pecuária, rotação de pastos, integração de usinas de açúcar e álcool com pecuaristas e frigoríficos, requerem métodos de modelagem matemática para desenvolvimento de sistemas integrados de planejamento. Esses sistemas são normalmente inseridos em ambientes de informação modernos, com abundância de dados, onde recursos de tecnologia de informação e técnicas estatísticas são utilizados. Os programas de graduação e pós-graduação de agronomia, zootecnia, engenharia agrícola, engenharia de produção, economia e de outras áreas, já incluem cursos de pesquisa operacional (programação linear) e estatística. Vários trabalhos recentes em publicações técnicas e científicas incluem esses conhecimentos. Assim sendo, a metodologia apresentada neste trabalho é reconhecida como apropriada. Entretanto, no nível empresarial, essas técnicas não são ainda percebidas como complementos fundamentais de suporte a processos decisórios complexos, como os que ocorrem em longas cadeias produtivas. Com o amadurecimento dos sistemas ERP - Enterprise Resources Planning e suas evoluções para os sistemas SCM - Supply Chain Management, especialmente neste momento de formação de grupos empresariais com integração de várias empresas, já se observa investimentos para implantação de sistemas integrados de planejamento com base em técnicas de otimização.

Os estudos realizados neste projeto, envolvendo a dinâmica de compra de bezerros, recria e terminação em pastos e/ou confinamento, para venda de bois

gordos, tratados como ampliação da atividade de uma usina autônoma de etanol, quantificaram e otimizaram os ganhos potenciais desta integração agroindustrial. Entretanto, o sistema desenvolvido não abrange questões relativas a interesses empresariais de outros agentes da integração, como o pecuarista e os frigoríficos. Além disso, deve-se realçar que os cenários estudados se referem a condicionantes pré-fixados ao longo do horizonte de planejamento de 120 meses, sem se preocupar com potenciais variações futuras de parâmetros (custos, preços, rendimentos, capacidades etc). Para um ambiente real de planejamento será necessário desenvolver condições para revisão dinâmica de planos através de horizontes rolantes, para os quais as decisões otimizadas do segundo mês em diante possam ser revisadas.



### **3.1 Uso de Energia Fóssil e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção Integrada de Etanol e Biodiesel<sup>54</sup>**

#### **3.1.1 Introdução**

Entre 2006 e 2007, o suprimento mundial de biocombustíveis cresceu 37%, atingindo a marca de 0,7 mb/dia. Mas a manutenção desse rápido crescimento não é esperada para o curto prazo. As preocupações com os efeitos nos preços dos alimentos e as questões sobre a real magnitude da capacidade de mitigação das emissões de GEE e a sustentabilidade ambiental da produção dos biocombustíveis têm feito com que diversos países revisassem suas metas de consumo. Não obstante, para o longo prazo projeta-se uma recuperação do uso de biocombustíveis no mundo, alcançando 2,7 mb/dia em 2030 no cenário de referência da Agência Internacional de Energia (IEA, 2009).

Boa parte dessa expansão estaria associada às chamadas tecnologias de segunda geração, as quais permitiriam o alcance de maiores eficiências (termodinâmica, econômica e ambiental) através da consolidação das biorrefinarias. De forma ampla, uma biorrefinaria pode ser definida como um complexo integrado capaz de produzir diferentes produtos (combustíveis, químicos e potência) a partir de diferentes biomassas (Ondrey, 2006), num conceito que também poderia envolver um menor comprometimento de terras para fins da bioenergia.

Hoje podemos dizer que as atuais usinas de cana-de-açúcar no Brasil já representam importantes precursoras das futuras biorrefinarias, utilizando a biomassa da cana para a produção de etanol, açúcar, potência, além de outros produtos. O potencial para melhorias ainda é enorme. Além do melhor aproveitamento do material ligno-celulósico da cana, o uso mais eficiente da terra visando à integração de sistemas bioenergéticos também merece atenção. Um exemplo desta integração vem sendo testado em escala comercial no Brasil, envolvendo a produção integrada de etanol e biodiesel (Olivério et al., 2006).

As sinergias desta integração são verificadas não só nos setores agrícola e industrial, como também nos campos administrativo e comercial (MDIC, 2006). No setor agrícola, a produção de oleaginosas em rotação com a cana já é uma prática conhecida, que permite a interrupção do ciclo de doenças e pragas da cana e contribui para a recuperação da fertilidade do solo. Adicionalmente, o uso comum da infra-estrutura agrícola e industrial permite a divisão de custos, o uso otimizado das instalações e a minimização de investimentos, além da possibilidade do uso do biodiesel como combustível para as máquinas agrícolas e caminhões. Nos campos administrativo e comercial, o aproveitamento da estrutura e a diversificação dos produtos trazem importantes vantagens estratégicas, e a comercialização do biodiesel também pode se valer da experiência adquirida através do etanol.

O objetivo deste trabalho foi analisar o benefício ambiental deste tipo de integração, através da avaliação do seu impacto no uso de energia fóssil e nas emissões de gases de efeito estufa associados à produção do etanol. Foi analisado

---

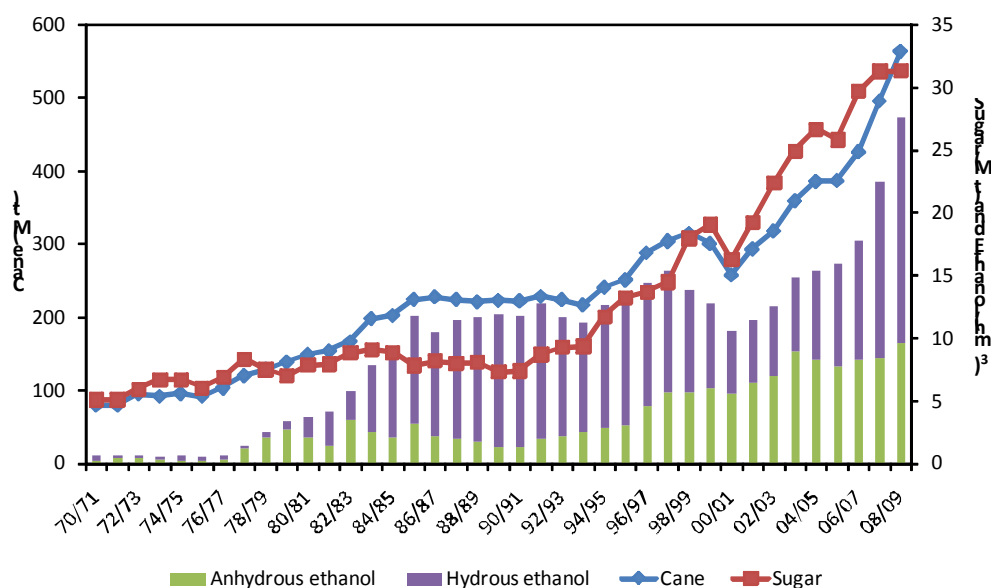
<sup>54</sup> Pesquisador responsável: Joaquim Seabra (CTBE).

um sistema de produção hipotético no qual soja seria cultivada nas áreas de renovação da cana. O óleo extraído da soja seria a matéria-prima para a produção de biodiesel numa planta anexa à usina de cana, o qual seria utilizado como combustível substituto ao diesel (B5) para o cultivo da cana.

### 3.1.2 Os Biocombustíveis Líquidos no Brasil

#### 3.1.2.1 Etanol

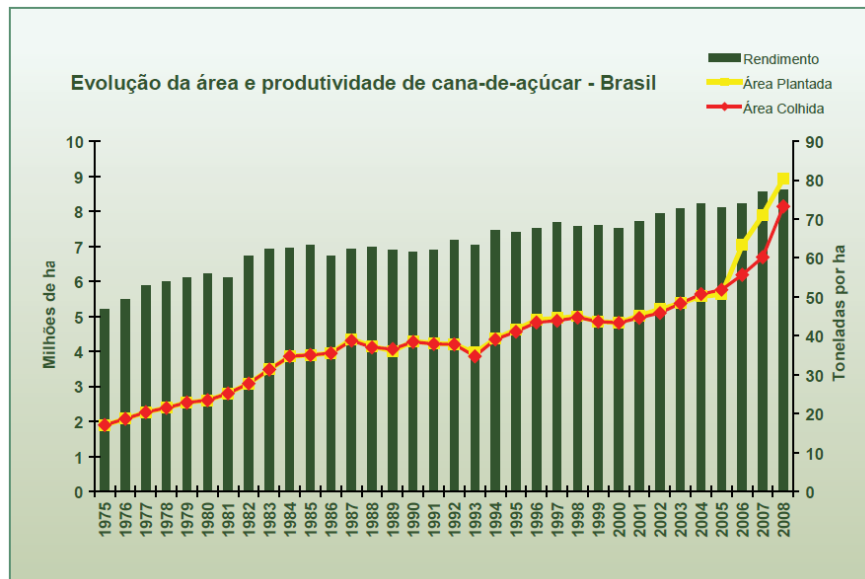
O etanol (ou bioetanol) tem uma longa história no Brasil. A produção iniciou na década de 1930, quando uma mistura de 5% à gasolina era compulsória, mas somente durante a década de 1970, com a crise do petróleo, o programa nacional (Pró-Álcool) foi lançado, e a produção decolou (Figura 130, Figura 131).



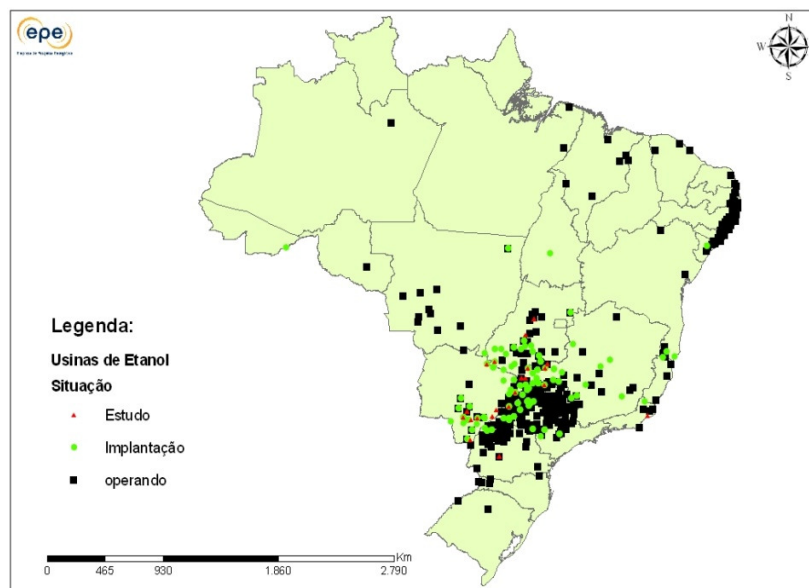
**Figura 130. Evolução da produção de cana-de-açúcar, açúcar, álcool anidro e hidratado no Brasil. (baseado em MAPA, 2009)**

A tecnologia de produção do etanol a partir dos açúcares da cana é madura e bem conhecida. No Brasil, a produção é baseada na fermentação tanto do caldo da cana, como de misturas de caldo e melaço. A maior parte das unidades produtoras de etanol no Brasil são usinas de açúcar com destilarias anexas, mas existe um bom número de destilarias autônomas, que vem crescendo substancialmente com os novos projetos em construção. A Figura 132 apresenta o mapa das usinas no país.

Nos últimos 30 anos a evolução tecnológica nos sistemas agrícola e industrial conduziu a importantes reduções de custos (Figura 133), e hoje o etanol de cana é competitivo com os combustíveis fósseis, sem a necessidade de subsídios. O avanço da tecnologia de produção do etanol também impactou seu desempenho ambiental. Nas condições atuais, para cada unidade de energia fóssil utilizada na sua cadeia produtiva, cerca de 9 unidades de energia renovável são produzidas. Com respeito às emissões de GEE, o etanol pode mitigar mais 80% das emissões com relação à gasolina (Macedo e Seabra, 2008).



**Figura 131. Evolução da área de produção e da produtividade brasileira de cana-de-açúcar para todos os fins. (MAPA, 2009)**



**Figura 132. Localização das usinas de cana-de-açúcar no Brasil. (EPE, 2008)**

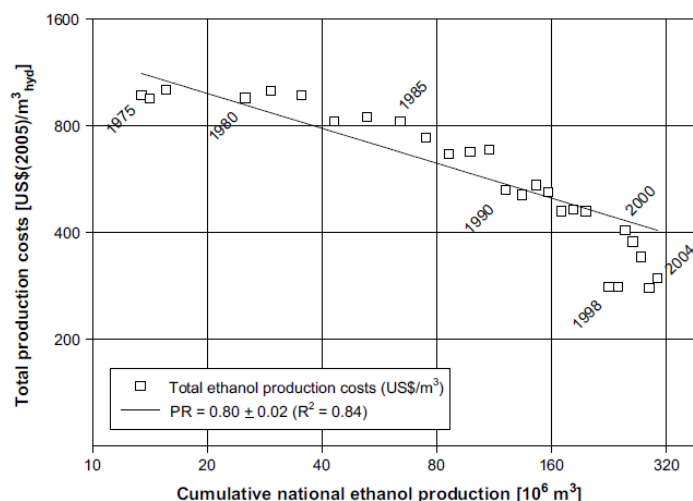


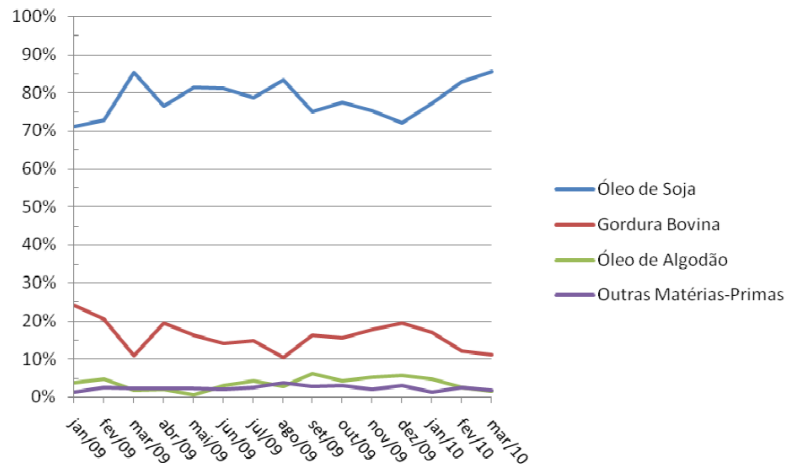
Figura 133. Evolução dos custos do etanol hidratado entre 1975 e 2004. (van den Wall Bake, 2009)

### 3.1.2.2 Biodiesel

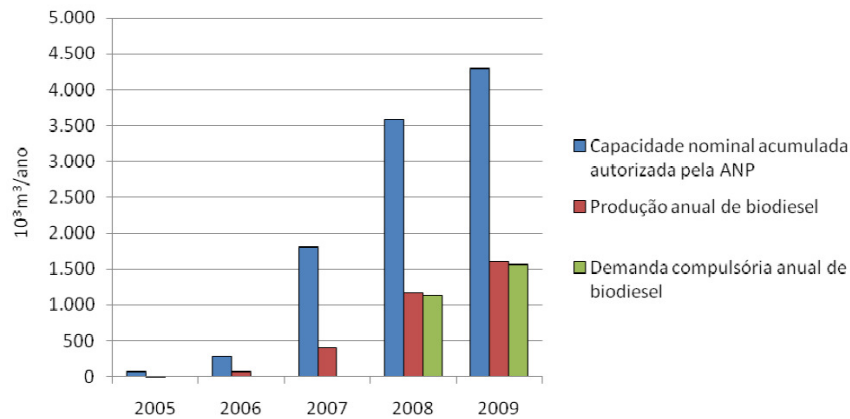
As primeiras referências ao uso de óleos vegetais como combustível no Brasil datam da década de 1920. Em 1980, a Resolução nº 7, do Conselho Nacional de Energia, instituiu o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo). Entre outros objetivos, pretendia-se substituir óleo diesel por óleos vegetais em mistura de até 30% em volume, incentivar a pesquisa tecnológica para promover a produção de óleos vegetais nas diferentes regiões do país e buscar a total substituição do óleo diesel por óleos vegetais. Também no início dos anos 80, a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio (STI/MIC), desenvolveu e lançou o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal, com algumas linhas de ação relacionadas aos óleos vegetais combustíveis, que levaram ao Programa OVEG. Por conta das subseqüentes quedas do preço do petróleo, estas primeiras iniciativas do governo não tiveram sucesso (Garcez et al., 2009; Biodieselbr, 2010).

Com este antecedente, e tomando como referência o expressivo programa de biodiesel europeu, o governo federal lançou em dezembro de 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Através da lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o governo estabeleceu a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel.

Quimicamente, o biodiesel é definido como um composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, produzidos a partir do processo de transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais. No Brasil, a principal matéria-prima utilizada é o óleo de soja, seguida do sebo bovino (Figura 134). Atualmente o País está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com uma produção anual de 1,6 bilhão de litros (Figura 135).



**Figura 134. Principais matérias-primas para a produção de biodiesel no Brasil (janeiro/2009 a março/2010). (ANP, 2010)**



**Figura 135. Evolução anual da produção, demanda compulsória e capacidade nominal autorizada pela ANP. (ANP, 2010)**

Existem 66 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País (Figura 136), correspondendo a uma capacidade total autorizada de 13.897,33 m<sup>3</sup>/dia. Destas 66 plantas, 49 possuem Autorização para Comercialização do biodiesel produzido, que representam uma capacidade autorizada para comercialização 11.834,83 m<sup>3</sup>/dia (ANP, 2010). Os preços de comercialização são definidos em leilões realizados pela ANP, cujo objetivo inicial era o estabelecimento do mercado, mas que ainda continuam sendo realizados visando à garantia do percentual de mistura determinado em lei.

Independentemente do seu rápido avanço, a sustentabilidade da produção do biodiesel ainda precisa ser demonstrada. Seu custo ainda está distante de ser competitivo com o do diesel fóssil, e seus benefícios sociais são limitados (Horta Nogueira, 2009). Com relação aos aspectos ambientais, existem benefícios quanto ao balanço de energia e a capacidade de mitigação de emissões de GEE, embora não tão expressivos quando comparados aos do etanol de cana (Tabela 106).

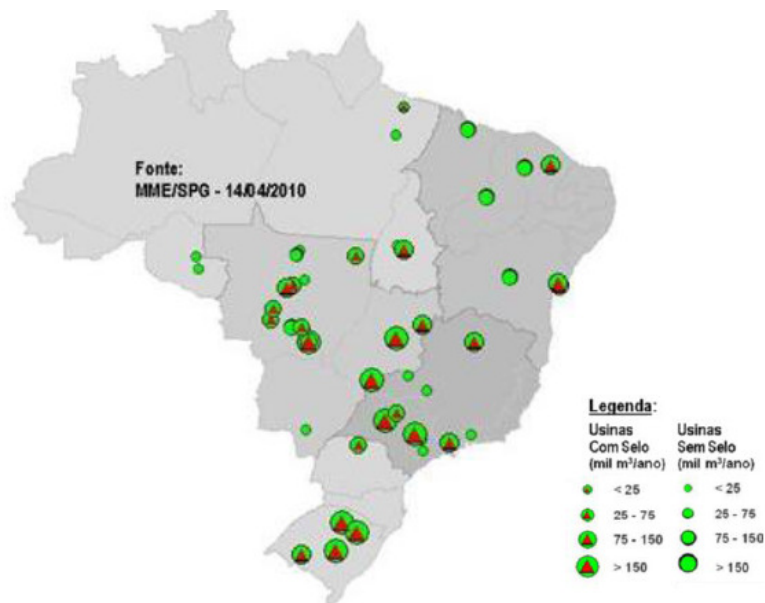


Figura 136. Localização das unidades produtoras de biodiesel. (MME, 2010)

Tabela 106. Consumo de energia fóssil e emissões de GEE relacionadas com a produção de biodiesel (Horta Nogueira, 2009)

Matéria-prima	Consumo de energia fóssil (MJ/kg biodiesel)	Emissões de GEE (g C/kg biodiesel)
Soja	12,1	302,8
Mamona	36,2	903,3
Palma	11,5	236,5
Sebo	6,0	139,5

### 3.1.3 Metodologia

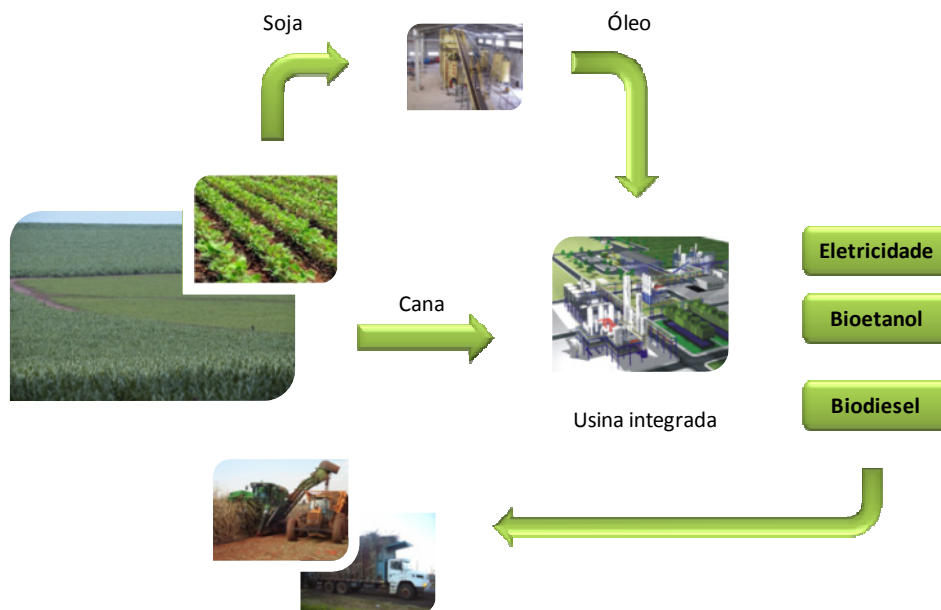
#### 3.1.3.1 Sistemas selecionados

Neste estudo dois casos foram considerados para a avaliação do impacto do uso do biodiesel no balanço de energia e emissões do etanol:

- **Referência:** considera um sistema convencional de produção de cana e seu processamento a etanol e energia elétrica, utilizando apenas o diesel (B5) como combustível nas operações agrícolas e transporte da cana.
- **Sistema integrado:** considera a produção integrada de biodiesel, etanol e energia elétrica; o biodiesel produzido é utilizado como combustível nas operações agrícolas e transporte da cana em substituição parcial ao diesel convencional (B5). Nesta substituição, foi assumido que 1 MJ de biodiesel (B100) seria capaz de substituir 1 MJ de diesel (B5).

A Figura 137 representa esquematicamente o Sistema integrado considerado, no qual a soja seria cultivada nas áreas de renovação da cana. Dessa forma, não seriam necessárias áreas adicionais para a produção do biodiesel. Neste estudo foi assumido que 15% da área total do canavial seriam renovados anualmente, e que a soja seria cultivada em 100% dessa área de renovação. Por conta da fixação

biológica de nitrogênio (FBN) promovida pelo cultivo da soja, ainda foi assumido que não haveria a necessidade de adubação mineral nitrogenada da cana planta.



**Figura 137. Representação do sistema integrado considerado neste estudo.**

Olivério et al. (2006) indicam três estágios na evolução da integração do processo de produção de biodiesel e etanol. O **Sistema integrado** estudado aqui (hipotético) envolve o primeiro estágio desta evolução, no qual se verifica apenas uma integração industrial parcial. Neste sistema, já disponível comercialmente, a soja é colhida e transportada para uma unidade de extração e tratamento do óleo. Foi considerada a adoção do sistema de escambo Façon (Olivério et al., 2006), através do qual o farelo co-produzido é trocado por óleo, permitindo um "rendimento" total de óleo superior a 430 kg/t grão. O óleo produzido é, então, transportado até a usina para sua conversão a biodiesel.

A planta de produção do biodiesel é uma unidade anexa à destilaria, a qual supre toda a demanda de utilidades. Dessa forma, o bagaço da cana é o único combustível utilizado no complexo industrial, que apresentaria como produtos finais o etanol, o biodiesel e um pequeno excedente de energia elétrica. Nesta avaliação, os impactos da produção anexa de biodiesel no rendimento final de etanol, no consumo de combustível da destilaria e na sua capacidade de geração de excedentes de energia elétrica foram desprezados por conta das escalas envolvidas. A produção de biodiesel se limita ao óleo derivado da soja cultivada nas áreas de reforma da cana (embora a disponibilidade de óleo seja maior por conta do esquema de escambo façon). Não obstante, plantas anexas maiores devem ser consideradas nos sistemas comerciais, podendo utilizar inclusive outras matérias-primas para a produção de biodiesel. Este é o caso da unidade atualmente em operação no Brasil (Olivério et al., 2006), a qual envolve uma planta de biodiesel de 50.000 t/ano anexa a uma usina de cana com capacidade de moagem de aproximadamente 2,2 Mt cana. Em 2006, a usina produziu cerca de 152.000 m<sup>3</sup> de etanol, mais 50.000 t de açúcar. Vale notar que o impacto da planta de biodiesel na demanda de energia da usina é apenas marginal.

**A Tabela 107 apresenta os dados considerados para a produção de soja, transporte, extração e tratamento do óleo. Os dados referentes à etapa agrícola de produção da soja são as médias das safras 2007/2008 e 2008/2009 verificadas para três cidades do Mato Grosso, totalizando uma área de 6300 ha (Capaz, 2009). Para o caso da cana, foram consideradas as médias verificadas no relatório de acompanhamento do CTC (CGEE, 2009) referentes à safra 2008/2009 na região Centro-Sul. Os parâmetros industriais da produção de óleo e dos biocombustíveis (**



Tabela 108) são dados estatísticos de instituições dos setores (ABIOVE, CTC, UNICA) e de indústrias de equipamentos (Mourad, 2008; CGEE, 2009; Olivério et al., 2006).

**Tabela 107. Parâmetros considerados para a produção de soja, transporte, extração e tratamento do óleo**

Parâmetro	Unidades	Valor
<i>Cultivo<sup>a</sup></i>		
% da área de reforma de cana	%	100%
Produtividade	kg/ha	3150
<i>Insumos agrícolas</i>		
N	kg/ha	1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg/ha	77,5
K <sub>2</sub> O	kg/ha	84,4
CaCO <sub>3</sub>	kg/ha	<sup>b</sup>
Herbicida	kg/ha	1,7
Inseticida	kg/ha	1,04
Fungicida	kg/ha	0,66
Sementes	kg/ha	50,83
Consumo de diesel	L/t grão	11,5
<i>Transporte do grão<sup>a</sup></i>		
Distância média <sup>c</sup> (somente ida)	km	100
Capacidade de carga	t	10
Consumo de combustível	km/L	2,5
<i>Extração<sup>d</sup></i>		
Rendimento de óleo		
Rendimento adicional de óleo (Façon) <sup>f</sup>	kg/t grão	180
Consumo de hexano	kg/t grão	1,1
Consumo de energia elétrica	kWh/t grão	37
Consumo de lenha	kg/t grão	67
<i>Transporte de óleo<sup>e</sup></i>		
Distância média <sup>c</sup> (somente ida)	km	100
Capacidade de transporte	t	22,7
Consumo de combustível	km/L	2,1

a. Capaz (2009).

b. Como a calagem já seria feita nas áreas de reforma do canavial, nenhum consumo de CaCO<sub>3</sub> foi atribuído ao cultivo da soja.

c. Valores arbitrários.

d. Estimado a partir de Capaz (2009).

e. Estimado a partir do modelo GREET.

f. Olivério et al. (2006).

**Tabela 108. Parâmetros industriais considerados para a produção de etanol e biodiesel**

Parâmetro	Unidades	Valor
<i>Produção de etanol<sup>a</sup></i>		
Rendimento <sup>b</sup>	L/t cana	85
Excedente de energia elétrica <sup>c</sup>	kWh/t cana	10,7
Consumo de bagaço	kg/t cana	264
Insumos químicos <sup>d</sup>		
Cal	g/t cana	880
Ácido sulfúrico	g/L etanol	7,37
Soda	g/L etanol	2,12
Antibiótico	g/m <sup>3</sup> etanol	9,285
<i>Produção de biodiesel<sup>e</sup></i>		
Rendimento	kg/t óleo	1046
Glicerina (85%) <sup>c</sup>	kg/t biodiesel	117
Utilidades		
Energia elétrica	kWh/t biodiesel	15
Vapor	kg/t biodiesel	300
Água de resfriamento	Mcal/t biodiesel	145
Ar	Nm <sup>3</sup> /t biodiesel	6
Insumos químicos		
Etanol	kg/t biodiesel	154
Metilato de sódio (30%)	kg/t biodiesel	33,4
Ácido cítrico	kg/t biodiesel	0,65
Ácido hidrocloreídrico @ 36%	kg/t biodiesel	9,5
Soda cáustica @ 50%	kg/t biodiesel	1,5
Ácido sulfúrico	kg/t biodiesel	0,2

a. CGEE (2009).

b. Valor arbitrário que representa a média das usinas de São Paulo.

c. Co-produtos.

d. Principais insumos.

e. Rota etílica (Olivério et al.,2006).

### 3.1.3.2 Avaliação do uso de energia fóssil e emissões de GEE

Este estudo avaliou o uso de energia fóssil e as emissões de GEE na cadeia produtiva do etanol de cana, compreendendo desde o cultivo da cana até o seu processamento a etanol (análise do berço ao portão da fábrica). Dois níveis de fluxos de energia foram considerados nos balanços de energia e emissões de GEE:

- O consumo direto de combustíveis e eletricidade externos;
- A energia adicional para a produção de insumos utilizados nos processos agrícolas e industriais (fertilizantes, calcário, ácido sulfúrico, lubrificantes, etc.).

Todos os fluxos de energia foram calculados em termos da energia primária, levando-se em conta os inputs de energia requeridos durante a extração, transporte e produção dos combustíveis (e eletricidade), cujos dados foram majoritariamente extraídos do modelo GREET1.8c.0. Para o caso do diesel B5, adotaram-se os coeficientes de energia e emissões resultantes da ponderação (em volume) entre o diesel fóssil (GREET1.8c.0) e o biodiesel de soja (Horta Nogueira, 2009). Para o biodiesel B100 produzido no sistema integrado com o etanol, no entanto, foram utilizados os coeficientes determinados neste estudo.

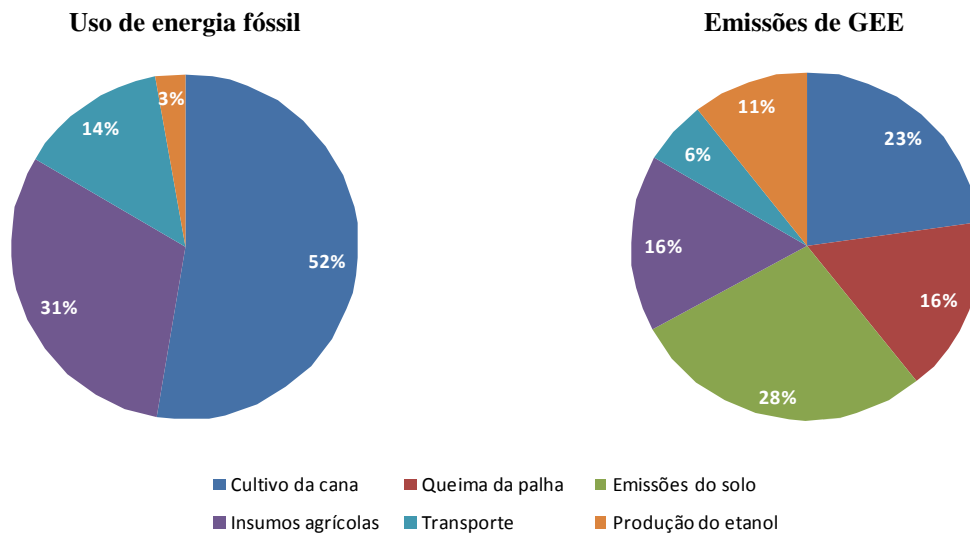
Os consumos de energia para a produção de sementes de soja e lenha foram baseados em Mourad (2008), a partir dos quais se estimaram as emissões de GEE. No caso dos insumos químicos industriais, dados agregados da indústria química nacional sobre o consumo específico de energia e emissões foram utilizados (Abiquim, 2008), com exceção do hexano, cujos coeficientes foram obtidos a partir de Cunha (2008).

Além das emissões provenientes do uso de combustíveis, foram também quantificadas as emissões decorrentes da queima da palha, da aplicação de fertilizantes nitrogenados, calcário e dos resíduos retornados ao solo (palha, torta de filtro, vinhaça, fuligem, etc.). Para o caso da soja, foram incluídas as emissões de N<sub>2</sub>O dos resíduos acima e abaixo do solo, estimados conforme a metodologia tier 1 do IPCC (2006). Já para a cana, não foi considerada neste momento a parcela de resíduos abaixo do solo, mas que será incluída futuramente conforme dados específicos para o caso da cana venham a ser disponibilizados. Emissões diretas de N<sub>2</sub>O decorrentes da fixação biológica de nitrogênio promovida pelo cultivo da soja também não foram consideradas, tendo em vista a falta de evidências indicando emissões significativas provenientes deste processo (IPCC, 2006).

Para a avaliação dos créditos dos co-produtos, foi assumido que a energia elétrica exportada pela destilaria iria substituir a geração de eletricidade em termelétricas a gás natural, conforme discutido em CGEE (2009). No caso da glicerina (co-produto do biodiesel), um método de alocação baseado na massa dos produtos foi utilizado para separar as emissões referentes à produção do óleo. Muito embora o óleo represente menos de 20% da massa do grão de soja, nenhum método foi adotado para alocar as emissões da produção de soja, já que o farelo é trocado por óleo no sistema de escambo (o que, de certa forma, já representa um critério de alocação/substituição).

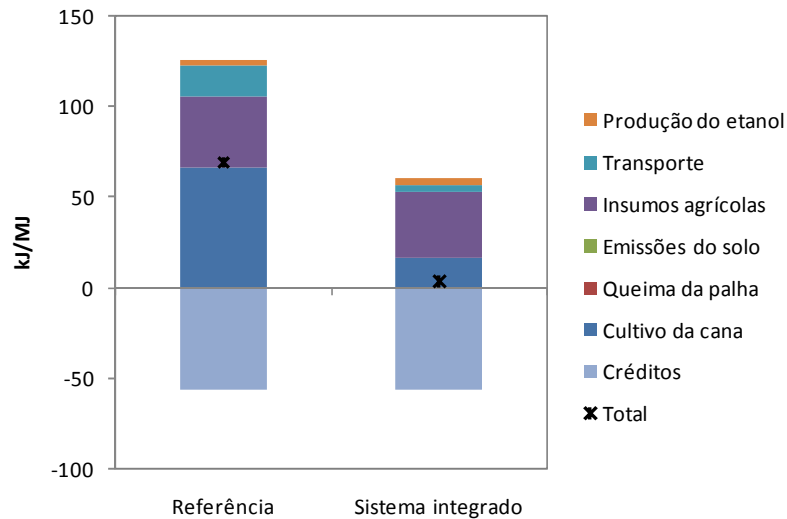
### **3.1.4 Resultados**

No caso Referência, o consumo de diesel nas atividades agrícolas e no transporte da cana representa cerca de 2/3 do consumo total de energia fóssil na produção do etanol (Figura 138). Por conta das emissões do solo e da queima da palha, a contribuição do uso de diesel é bem menor para as emissões de GEE, representando menos de 30% do total. Isso faz com que a substituição do diesel por biodiesel beneficie principalmente o balanço de energia do etanol, muito embora significativas reduções de emissões também sejam observadas (Figura 139, Figura 140). Por conta do cultivo da soja nas áreas de renovação da cana, um pequeno benefício também é verificado pela não necessidade de adubação mineral nitrogenada da cana-planta.

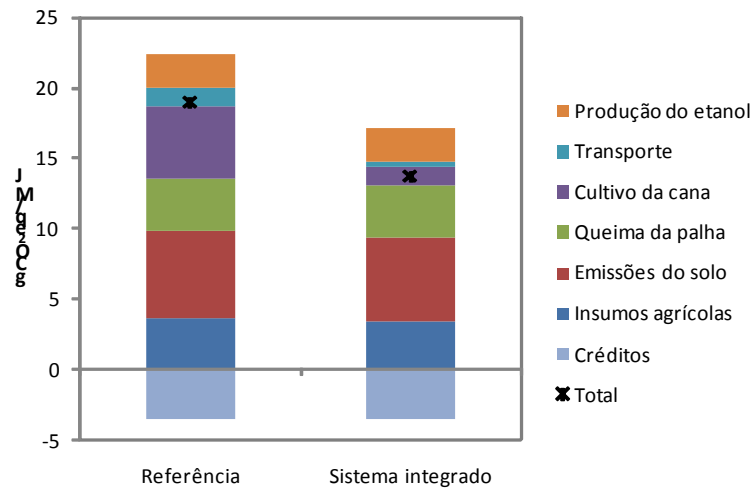


**Figura 138. Detalhe das participações no uso de energia fóssil e emissões de GEE para o caso Referência.**

No Sistema integrado avaliado aqui, o biodiesel produzido na usina seria capaz de substituir cerca de 70% do diesel utilizado na produção e transporte da cana. Tal substituição faz com que o consumo de energia fóssil caia de 69 kJ/MJ (verificado para o caso Referência) para apenas 4 kJ/MJ. Neste sistema, as etapas de cultivo e transporte da cana representam 1/3 do consumo de energia, deixando a produção dos insumos agrícolas como a etapa de maior contribuição. No caso das emissões, o impacto da substituição é menos acentuado. As emissões de GEE no caso Referência foram avaliadas em 18,9 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, ao passo que no Sistema integrado elas seriam 13,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ.



**Figura 139. Consumo de energia fóssil na cadeia de produção do etanol de cana.**



**Figura 140. Emissões de GEE na cadeia de produção do etanol de cana.**

É importante notar que os perfis de consumo de energia e emissões variam de usina para usina. O caso Referência adotado aqui representa a situação média da região Centro-Sul na safra 2008/2009, mas casos bastante variados podem ocorrer. De forma geral, a tendência para os próximos anos é que a queima da palha seja eliminada, e o consumo de diesel aumente devido à mecanização. Os excedentes de energia elétrica também aumentarão de forma significativa, gerando créditos que poderão até mesmo compensar todas as emissões provenientes da produção do etanol. Independentemente disso, a produção integrada de biodiesel é uma importante estratégia não só para reduzir ainda mais as emissões, mas também contribuir para a independência da cadeia produtiva do etanol por recursos fósseis. Entretanto, os limites de produção de oleaginosas também devem ser investigados, considerando as restrições de disponibilidade de áreas e condições adequadas para o cultivo.

Em sistemas de produção de biodiesel, importantes co-produtos são normalmente produzidos, gerando sempre questões sobre a forma com que as cargas ambientais podem ser alocadas a cada um dos produtos. No sistema avaliado, o farelo da soja é trocado por óleo através de um sistema de escambo, o que já configura um

critério para alocação. Como o objetivo era maximizar a disponibilidade de óleo para conversão, outras opções de alocação não foram avaliadas (ver anexo).

Considerando as características deste sistema, o consumo de energia fóssil para a produção de uma tonelada de biodiesel foi estimado em aproximadamente 4 GJ, enquanto que as emissões de GEE seriam próximas de 410 kg CO<sub>2</sub>eq. A maior parcela do consumo de energia estaria associada ao cultivo e transporte da soja, muito embora a extração do óleo possa representar uma grande fonte de emissões, caso óleo combustível seja utilizado como fonte de energia, ao invés da lenha. Além do melhor aproveitamento da terra, o uso do bagaço como combustível na etapa de produção do biodiesel também representa uma grande vantagem do sistema integrado, permitindo que os valores para o consumo de energia fóssil e emissões sejam consideravelmente inferiores aos de sistemas convencionais. Mourad (2008), por exemplo, estima um consumo fóssil total de aproximadamente 11,7 GJ/t biodiesel, utilizando soja como matéria-prima num sistema convencional. Já Horta Nogueira (2009) reporta valores de 12,1 GJ/t e 1110 kg CO<sub>2</sub>eq/t, para o consumo de energia fóssil e emissões, respectivamente.

Vale destacar que desempenhos ainda superiores poderiam ser alcançados através da evolução do estágio de integração dos processos industriais, possibilitando a extração e tratamento do óleo já na usina. Outras matérias-primas também poderiam ser utilizadas no sistema integrado, baseados em tanto em óleos, quanto em gorduras animais. Essa flexibilidade conferiria vantagens estratégicas à biorrefinaria e permite que alternativas ambientalmente atrativas possam ser exploradas.

### **3.1.5 Conclusões**

A diversificação de matérias-primas e a integração de diferentes sistemas de produção podem contribuir significativamente para a sustentabilidade da produção de biocombustíveis. No Brasil, a integração da produção de etanol e biodiesel já vem sendo explorada em escala comercial, envolvendo o cultivo da soja nas áreas de renovação de cana. Além das sinergias nas áreas agrícola, industrial e administrativa, importantes benefícios ambientais também podem ser verificados através deste tipo de integração.

Neste trabalho verificou-se que a integração da produção de etanol e biodiesel contribuiria significativamente para a redução de emissões de GEE e, principalmente, uso de energia fóssil na cadeia produtiva do etanol. Comparado com o caso de referência, o sistema integrado avaliado aqui permitiria que o consumo de energia fóssil fosse reduzido de 69 para 4 kJ/MJ de etanol, enquanto que as emissões passariam de 18,9 para 13,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de etanol.

Essa produção integrada se mostra como uma importante opção para a independência da produção de etanol por recursos fósseis, sem a necessidade de ocupação de novas áreas. Além disso, em sistemas de maior escala, que utilizariam matérias-primas externas ao sistema da cana, o biodiesel excedente co-produzido também contaria com a importante vantagem ambiental da utilização do bagaço como fonte energia na etapa de conversão. Todas estas opções são ambientalmente atrativas, mas os aspectos sócio-econômicos devem ser igualmente analisados para que a sustentabilidade desses sistemas possa ser avaliada de forma abrangente.

### **3.2 Desenvolvimento de Uma Metodologia de Alocação para Avaliar Mudança no Uso da Terra<sup>55</sup>**

#### **RESUMO**

O objetivo deste projeto é contribuir para o avanço da discussão sobre metodologias de mensuração de ILUC, desenvolvendo uma rotina de análise baseada em uma abordagem de causa-efeito fundamentada em critérios de alocação das mudanças no uso da terra. É importante observar que essa abordagem é, na realidade, um conjunto de metodologias de avaliação de LUC e ILUC alternativas às modelagens econômicas, as quais trabalham com projeções futuras de mudança no uso da terra baseadas em choques de demanda. Assim, dado que não existe um corpo bem definido de procedimentos de análise, este trabalho propõe uma abordagem causal-descritiva coerente para o caso brasileiro, tanto do ponto de vista da dinâmica da produção agropecuária em geral, e da cana-de-açúcar para etanol em particular, quanto da disponibilidade de dados de mudança no uso da terra disponíveis no Brasil e já levantados e organizados pelo ICONE.

A abordagem aqui proposta é uma metodologia de alocação, sendo que a substituição entre atividades produtivas (e da vegetação natural pelas atividades produtivas) é calculada a partir das variações absolutas observadas em um determinado período de tempo. As variações positivas são alocadas nas variações negativas a partir de pressupostos de mudança no uso da terra. As hipóteses de alocação, sobretudo no caso da substituição de vegetação natural, foram calibradas por dados físicos obtidos com imagens de satélite. Assim, os coeficientes de competição e avanço na fronteira foram calculados pela combinação de dados secundários coletados, sobretudo, na Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE, e dados primários de sensoriamento remoto (levantados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - e Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, da Universidade Federal de Goiás). O período de análise escolhido foi 2005 e 2008, quando a produção de etanol passou de 16 para 27 bilhões de litros por ano.

Foram calculadas matrizes de substituição entre os diferentes usos, em termos absolutos e relativos, para cada região do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste Cerrado, Norte Amazônia, Nordeste Litorâneo e Nordeste Cerrado). Tais matrizes ilustram a substituição direta entre usos do solo e indicam que da expansão total de cana-de-açúcar (2,4 milhões de hectares), foram convertidos apenas 9,7 mil ha de vegetação nativa. As matrizes de substituição direta foram utilizadas para calcular matrizes de substituição indireta, que indicaram que houve um total de 181 mil ha de vegetação nativa convertida indiretamente pelo avanço da cana-de-açúcar – o que representa cerca de 8% do crescimento total da cultura. As conversões diretas e indiretas, além das demais mudanças no uso da terra, provocaram emissões totais de 2,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente. Considerando o incremento da produção energética no período, obteve-se um fator de emissões diretas e indiretas (fator de ILUC) de 7,63 g CO<sub>2</sub>-eq/MJ.

---

<sup>55</sup> Pesquisador responsável: André Meloni Nassar (ICONE).

Tal fator de emissão é significativamente menor do que outras estimativas, o que indica que a participação das mudanças no uso da terra pode estar sendo superestimada. O presente estudo é a primeira experiência de metodologia determinística (ou de alocação) específica para a realidade brasileira e contribui para o desenvolvimento teórico e metodológico do conceito de ILUC de biocombustíveis.

### **3.2.1 Mudanças no uso da terra e biocombustíveis – contexto atual e objetivos do estudo**

O conceito de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) causados pelas mudanças de uso da terra (*Land Use Change* - LUC e *Indirect Land Use Change* - ILUC) devido à expansão dos biocombustíveis de base agrícola ganhou destaque mundial a partir de 2008. Alguns estudos indicaram que a incorporação das emissões advindas de mudanças indiretas no uso da terra pode cancelar o benefício climático dos biocombustíveis (FARGIONE *et al.*, 2008; SEARCHINGER *et al.*, 2008). O efeito da expansão da cana-de-açúcar na mudança direta no uso da terra já foi analisado tanto com o uso de imagens de satélite como com dados secundários, evidenciando que o avanço desta cultura se dá sobre pastagens e outras culturas, com um efeito desprezível sobre vegetação nativa (NASSAR *et al.*, 2008). Por outro lado, o desenvolvimento de metodologias para estimar as mudanças indiretas no uso da terra (ILUC) e seus impactos sobre as emissões totais de GEE de biocombustíveis ainda está em debate no meio acadêmico e político. A idéia básica por trás do conceito de ILUC é que, ao expandir sobre pastagens e outras culturas, os biocombustíveis fazem com que esses outros usos avancem sobre a fronteira agrícola, causando desmatamento e, conseqüentemente, gerando emissões adicionais de GEE.

As abordagens usadas para estimar o efeito indireto da mudança no uso da terra causado pela expansão de biocombustíveis podem ser divididas em três grupos. Primeiramente, modelos econômicos de projeção da agropecuária são usados para estimar o efeito de um choque de demanda por biocombustíveis em relação a um cenário base e, assim, são estimadas as mudanças no uso da terra na margem. Tanto modelos de equilíbrio geral como de equilíbrio parcial são utilizados para tal fim, neste último grupo destaca-se o Modelo Brasileiro de Uso da Terra (Brazilian Land Use Model - BLUM) desenvolvido pelo ICONE. A comparação entre as metodologias até hoje utilizadas, inclusive as diferentes modelagens econômicas em uso pelo California Air Resource Board (CARB), pela Agência de Proteção Ambiental americana (EPA) e pela Comissão Européia (CE), foi elaborada na seção 4.5 do capítulo OE4 do relatório "Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-açúcar" coordenado pela UNICAMP, FUNCAMP e CGEE.

A segunda abordagem utilizada se refere a metodologias de alocação de usos da terra baseados em dados históricos, também conhecidas como metodologias determinísticas ou causal-descritivas. A própria abordagem de modelagem econômica utiliza-se de padrões históricos de alocação para calibrar os modelos e, na maior parte dos casos, são usados padrões observados por satélite. O relatório da Agência de Proteção Ambiental do Governo dos EUA (EPA), por exemplo, usou o padrão de alocação estimado pela Winrock International (HARRIS *et al.*, 2009). O estudo elaborado pelo IFPRI que estimou um ILUC marginal do etanol de cana-de-açúcar de 18 g CO<sub>2</sub>eq /MJ, utilizando o modelo de equilíbrio geral MIRAGE, também usou o padrão de alocação da Winrock (AL-RIFFAI *et al.*, 2010). Embora dados obtidos com imagens de satélite possam ser bastante precisos para medir a



mudança de uso direta, para estimativa das mudanças de uso da terra indiretas tais dados não são a melhor resposta. É preciso definir uma lógica de causa-efeito baseada tanto em imagens de satélite como em outras pressuposições a fim de reproduzir a complexa dinâmica envolvida no conceito de ILUC. Estudo da Econometrica e Greenenergy usando tal abordagem estimou um fator de emissões total (LUC + ILUC) na margem para o etanol de cana-de-açúcar para o período de 2000 a 2005 de 45 g CO<sub>2</sub>eq /MJ (TIPPER *et al.*, 2009). No entanto, tal estudo é demasiadamente simplista na forma de distribuir as emissões totais do desmatamento mundial entre os diversos *drivers* e bicomcombustíveis, além de apresentar erros conceituais significativos.

Outra metodologia com base em alocação de terra foi desenvolvida considerando como base um padrão global de alocação das culturas agrícolas (FRITSCHÉ *et al.*, 2010). Com base nesse pressuposto, a participação de cada uso da terra dentre as culturas que são comercializadas no mercado global foi considerada uma *proxy* do potencial médio de emissões associadas a ILUC. Dentro dessa lógica, o Brasil contribui com 22% do total de terras usadas para commodities exportadas. A área para produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, então, irá contribuir nessa proporção para o fator de emissões global. Para definir o padrão de substituição direto da cana-de-açúcar no país, Fritche *et al.* (2010) diz utilizar o padrão de alocação descrito por Lapola *et al.* (2010), apesar deste não estar explícito no estudo.

Outra iniciativa que visa desenvolver uma metodologia causal-descritiva está sendo coordenada pela E4Tech, a pedido do governo inglês e com a participação de diversos pesquisadores e *stakeholders* do mundo<sup>56</sup>. Os resultados preliminares indicam um fator de emissões na faixa de 13 a 19 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de etanol de cana-de-açúcar, dependendo das hipóteses assumidas.

A terceira abordagem para lidar com ILUC é chamada de abordagem de precaução, a qual tem como princípio que, como o efeito do ILUC nas emissões totais dos bicomcombustíveis é alto, deve-se garantir que estes sejam cultivados em áreas com baixa chance de causar ILUC. Exemplo de trabalho que utiliza tal abordagem é o "Responsible Cultivation Areas Methodology" em desenvolvimento pela Ecofys. As discussões no âmbito da Mesa Redonda para Biocombustíveis Sustentáveis (RSB) também caminham em tal direção. No entanto, mais - e melhores - estimativas de efeitos de uso da terra ainda são necessários antes de assumir que tal efeito é alto e que, por isso, deve ser evitado. Considerando que as análises com esse fim são relativamente novas, muito progresso poderá ser feito daqui em diante.

Assim sendo, apesar da abordagem de alocação conceitualmente ter a vantagem de ser mais transparente e intuitiva que a modelagem econômica, ela ainda carece de estudos e de debate público para se firmar como metodologia aceitável. Além disso, os problemas associados a esta metodologia, tais como o estabelecimento da alocação a partir de dados de uso da terra muito agregados, são semelhantes às deficiências observadas nos modelos econômicos.

O presente trabalho visa preencher essa lacuna, desenvolvendo uma metodologia de alocação causal baseada nos melhores dados históricos disponíveis no Brasil para determinar um fator de emissões associado à mudança do uso da terra fruto

---

56 Mais informações sobre tal iniciativa estão disponíveis em <http://www.ilucstudy.com/index.htm>.

da expansão de etanol no país. Assim, uma importante vantagem da metodologia aqui proposta é o fato desta ser apresentada de forma transparente, em planilhas que contém todos os passos executados para o cálculo do efeito da expansão de um uso produtivo na conversão de vegetação nativa, contabilizando, assim, LUC e ILUC. Além disso, a metodologia aplicada neste estudo estabelece a alocação no nível das microrregiões do IBGE, minimizando os erros associados às escolhas dos critérios de alocação.

Embora conceitualmente simples, a metodologia é complexa em pelo menos quatro pontos. Primeiro, a montagem da base de dados necessária para se avaliar os padrões históricos é uma tarefa extremamente trabalhosa e será descrita em detalhes no item 2. Estabelecer as relações de causa-efeito - que serão fundamentais para se fazer a alocação da expansão das atividades agropecuárias na fronteira - é outro ponto complexo e que requer muita discussão teórica e conceitual. Também é necessário incorporar os efeitos de ganhos de produtividade das diferentes atividades produtivas e as conseqüências destes na competição por terra. Por fim, é necessário definir uma unidade geográfica de análise adequada, suficientemente pequena para captar a competição entre os diferentes usos da terra, mas que tenha dados confiáveis. Os dados do IBGE para microrregiões são mais consistentes e menos sujeitos a erros do que os dados por município. A forma como esses quatro pontos são trabalhados definem a qualidade dos resultados e a discussão sobre eles colaboram para desenvolver o conceito de ILUC, ainda muito recente em termos científicos.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- 1) Definir um padrão histórico de substituição entre os diversos usos agropecuários no Brasil e o avanço destes usos sobre vegetação nativa;
- 2) Estimar o efeito indireto da mudança no uso da terra causada pela expansão de cana-de-açúcar para etanol;
- 3) Estimar um fator de emissões de mudança de uso da terra direto e indireto para expansão do etanol de cana-de-açúcar (fator de ILUC).

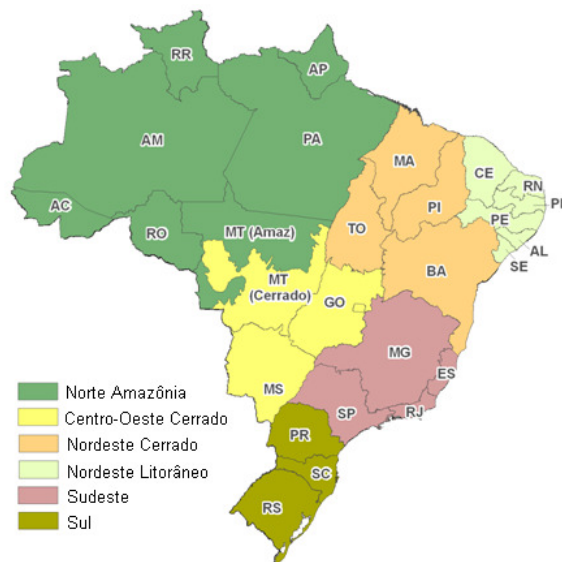
A definição do padrão histórico de mudança no uso da terra é feita destacando as atividades que mais utilizam terra no país, quais sejam pastagens, cana-de-açúcar, soja, milho, algodão, arroz, feijão e florestas plantadas, além da somatória das culturas permanentes, demais culturas anuais agregadas e áreas de vegetação nativa. Assim sendo, foi definido um padrão de substituição entre os onze usos da terra detalhados. Essa substituição representa a competição direta entre os usos produtivos e o avanço destes sobre vegetação nativa, os quais apresentados em termos relativos representam um coeficiente de substituição e um coeficiente de expansão, respectivamente. Ambos os coeficientes foram calculados com base no padrão observado no passado, isto é, na evolução da área utilizada para cada atividade produtiva. Ou seja, é um coeficiente que avalia a substituição de área de uma atividade produtiva ou da vegetação natural dada a variação de uma unidade de área de outra atividade produtiva.

Com a intenção de dar maior transparência ao presente estudo, todos os cálculos realizados em todas as etapas metodológicas foram realizados em software de amplo acesso (Excel 2007) e estão em arquivo anexo ao presente relatório. Além de possibilitar a checagem da base de dados e processamento dos mesmos, os

arquivos em anexo permitem a realização de análises de sensibilidade de parâmetros e pressuposições adotadas.

### 3.2.2 Análise descritiva dos dados de uso da terra no Brasil

Todos os dados e análises desse trabalho serão apresentados pelas regiões brasileiras do BLUM, quais sejam: Sul e Sudeste (idênticas à divisão política oficial); Centro-Oeste Cerrado (onde se retirou a parte do Mato Grosso que pertence ao bioma Amazônia); Norte Amazônia; Nordeste Litorâneo e os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins (MAPITO) e Bahia formam a região Nordeste Cerrado (Figura 141). Tais regiões foram definidas considerando a dinâmica da agropecuária local, assim como os biomas brasileiros. O Estado do Mato Grosso é o único que está dividido em duas regiões e o critério para dividi-lo é a lista dos municípios do IBGE nos biomas Amazônia e Cerrado. Os municípios que estão na divisa, isto é, que tem áreas dos dois biomas foram divididos arbitrariamente ao meio. Assim, todos os dados para esses municípios são divididos pela metade e estes municípios aparecem duas vezes na base de dados, uma em cada região.



Fonte: ICONE.

**Figura 141: Regiões brasileiras do BLUM**

O período de análise escolhido foi 2005 e 2008. Esse período foi escolhido porque apresentou um forte crescimento da área plantada de cana-de-açúcar e da produção de etanol. Nesse período a área de cana-de-açúcar cresceu cerca de 2,4 milhões de hectares e a produção de etanol passou de 16 para 27 bilhões de litros por ano (

Tabela 109). Vale ressaltar que, devido ao fato dos dados de conversão de cerrado estarem disponíveis desde 2002, a mesma análise foi realizada para o período 2002 e 2008, a fim de analisar a sensibilidade dos resultados obtidos. No entanto, por conta da expansão da produção ter se dado de 2005 em diante, optou-se por calcular o fator de ILUC apenas para o período 2005-2008.

**Tabela 109 - Produção total de etanol nas regiões brasileiras, em 2002, 2005 e 2008 (milhões de litros)**

	2002	2005	2008	Varição 02-08	Varição 05-08
Sul	987	1.043	2.055	1.068	1.012
Sudeste	8.638	11.315	19.292	10.654	7.978
Centro-Oeste Cerrado	1.221	1.634	3.309	2.088	1.675
Norte Amazônia	336	409	505	169	96
Nordeste Litorâneo	1.277	1.264	1.981	704	716
Nordeste Cerrado	164	281	370	206	89
Brasil	12.623	15.947	27.513	14.890	11.566

Fonte: UNICA. Elaboração: ICONE.

Como destacado anteriormente, a metodologia aqui proposta é baseada em um banco com os melhores dados secundários disponíveis sobre uso da terra no Brasil. A experiência do ICONE na montagem da base de dados para o BLUM, que tem grande sinergia com as análises aqui desenvolvidas, mostra que somente o uso de dados do IBGE, estimados na escala das unidades político-administrativas do país, não é suficiente. Diversos motivos explicam a necessidade de complementação de dados. Primeiramente, não existe série de tempo para pastagens, dado que é apenas levantado nos Censos Agropecuários, disponível para poucos anos (1996 e 2006 são os últimos anos). A própria informação de pastagem do Censo, 159 milhões de ha em 2006, é muito sujeita a contestações, especialmente por diferir significativamente de estimativas obtidas com sensoriamento remoto<sup>57</sup>. Além disso, os melhores dados de vegetação nativa e/ou de desmatamento também são provenientes de sensoriamento remoto. Assim sendo, a combinação da boa base de dados do IBGE sobre área de culturas agrícolas deve ser combinada com dados georreferenciados e técnicas de sensoriamento remoto, melhorando muito a qualidade da informação final.

Os dados referentes às culturas agrícolas foram coletados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE e foram categorizados da seguinte forma:

- cana-de-açúcar,
- soja,
- milho primeira safra<sup>58</sup>,
- algodão,
- arroz,
- feijão primeira safra,

---

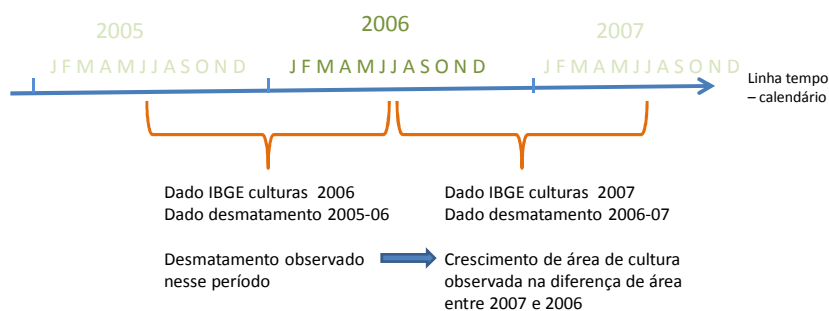
57 Embora a comparação entre dados de sensoriamento remoto e do Censo Agropecuário não esteja explicitamente apresentada no relatório final, essa análise foi feita no tema "Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra, e Florestas" no contexto do Estudo de Baixo Carbono para o Brasil (de GOUELLO, 2010).

58 Como os dados de milho primeira safra não estão disponíveis para o ano de 2002, foi feita uma estimativa baseada nos dados de milho total em 2002 e participação do milho safrinha na área total de milho em 2003.

- total de culturas permanentes,
- demais culturas anuais agregadas, exceto culturas de inverno<sup>59</sup>.

Todos esses dados foram coletados por microrregião para os anos de 2002, 2005 a 2008 e organizados em planilha Excel. Microrregiões, 558 no total, são unidades geográficas em que os mais de cinco mil municípios brasileiros são agregados e o uso de tal escala facilita a manipulação dos dados e ainda oferece um nível de detalhamento adequado. Os dados referentes a florestas plantadas (pinus e eucaliptus) no Brasil foram estimados a partir da área total ocupada por tais florestas divulgada pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (ABRAF, 2009). A área total de florestas plantadas no Brasil foi distribuída entre as microrregiões utilizando os dados de produção florestal do levantamento Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura do IBGE<sup>60</sup>. Estes dados de estoque de área foram subtraídos (estoque de 2008 menos o estoque de 2005) a fim de obter o fluxo do período.

Já os dados referentes à perda de vegetação nativa foram coletados para três biomas - Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica - e já são dados de fluxo, pois representam a diferença da cobertura de vegetação nativa entre dois anos. Para a análise aqui proposta foram utilizados os dados acumulados de desmatamento dos anos 2005, 2006 e 2007, que também representam o fluxo de três períodos. Entendemos que a ocupação de áreas desmatadas por culturas e/ou pastagens ocorre em sua maioria logo no ano seguinte ao desmate, conforme indicado por Morton *et al.* (2006) e por conversas com técnicos em regiões de fronteira agrícola (Figura 142). Obviamente a ocupação de áreas novas depende de uma série de fatores relacionados principalmente a clima e mercado. No entanto, foi preciso assumir uma hipótese em relação a isso para escolher os períodos de desmatamento analisados.



**Figura 142: Esquema de substituição de usos da terra e dados secundários usados para estimá-la**

Assim, assume-se nesse trabalho que o desmatamento observado em um determinado período acarretará aumento de área cultivada no ano seguinte. Tanto os dados de desmatamento, como de culturas agrícolas, se referem ao período de agosto a julho do ano seguinte, isto é, o dado do IBGE para o ano 2006 se refere às

59 Foram consideradas como de inverno as seguintes culturas: amendoim, cevada, centeio, trigo, triticale, aveia, linho e malva, além de milho e feijão de segunda e terceira safras.

60 As estimativas da área de floresta plantada por microrregião utilizadas aqui são as mesmas da base de dados do BLUM e utilizadas no Estudo de Baixo Carbono para o Brasil (de GOUVELLO, 2010).

áreas plantadas no segundo semestre de 2005 e colhidas no primeiro semestre de 2006.

A análise do crescimento de área total das culturas agrícolas no país indica que entre 2002 e 2008 houve um forte crescimento, especialmente entre 2002 e 2005, para as culturas de soja (7 milhões de ha), arroz (800 mil ha) e florestas plantadas (1 milhão de ha). O crescimento da área de cana-de-açúcar se concentrou no período entre 2005 e 2008, quando as demais culturas estiveram praticamente estáveis ou com decréscimo de área (Tabela 110).

**Tabela 110 - Área ocupada por culturas agrícolas e florestais no Brasil em 2002, 2005 e 2008 (mil ha).**

	2002	2005	2008	Varição 02-08	Varição 05-08
CANA	5.207	5.815	8.211	3.004	2.396
SOJA	16.376	23.427	21.064	4.688	-2.363
MILHO	9.693	9.024	9.652	-41	628
ALGODÃO	764	1.266	1.067	303	-199
ARROZ	3.172	3.999	2.869	-303	-1.130
FEIJÃO	2.984	2.225	2.229	-754	4
FLORESTA PLANT.	4.214	5.242	5.887	1.672	645
PERMANENTES	6.424	6.252	6.496	72	243
OUTRAS TEMP.	3.286	4.053	4.129	843	76
Total	49.711	61.303	61.603	11.892	300

Fonte: IBGE e ABRAF. Elaboração: ICONE.

Os dados de produtividade também foram estimados a partir de dados de área e produção da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (Tabela 111). Considerando que a produtividade agrícola é definida pela produção dividida pela área (em toneladas por hectare), tais dados foram obtidos do IBGE e usados para estimar o ganho de produtividade, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Ganho de produtividade} = Y_{2008} / Y_{2005}$$

sendo  $Y_{2008}$  a produtividade da cultura em 2008 e  $Y_{2005}$  a produtividade da cultura em 2005.

**Tabela 111 - Ganho de produtividade de culturas e pastagens selecionadas entre 2005 e 2008.**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO
Sul	120%	174%	185%	187%	118%	156%	109%	150%	123%	109%
Sudeste	104%	118%	114%	151%	104%	113%	109%	126%	239%	123%
Centro-oeste cerrado	112%	118%	148%	120%	121%	79%	109%	98%	110%	119%
Norte Amazônia	118%	104%	194%	112%	97%	105%	109%	103%	106%	135%
Nordeste Litorâneo	111%	101%	200%	125%	114%	129%	109%	133%	88%	100%
Nordeste Cerrado	91%	111%	119%	121%	113%	90%	109%	111%	93%	134%

Fonte: IBGE e ABRAF. Elaboração: ICONE.

Para as culturas com mais de uma safra no ano, a produção total das safras foi dividida pela área destinada à cultura na primeira safra. Assim, para o caso do milho, a produção da primeira safra mais a produção do milho safrinha foi somada e dividida pela área de milho primeira safra. Isto porque o aumento da segunda safra significa aumento da produtividade da terra, foco desse estudo. A estimativa de ganho de produtividade para as culturas permanentes foi feita considerando a média- ponderada pela área – do ganho de produtividade das três principais culturas de cada região. Para as florestas plantadas, foi usado o crescimento do Incremento Médio Anual – IMA, que representa o aumento do volume de madeira a cada ano (ABRAF, 2009).

O ganho de produtividade da pecuária foi estimado em termos de produção de carne por hectare, a partir dos dados disponíveis do IBGE. Considerando que esta atividade ocupa grandes extensões de área no Brasil e que é aquela com a maior capacidade de intensificação da produção, os resultados finais são bastante sensíveis à estimativa de ganho de produtividade da pecuária.

O período entre 2002 e 2007 pode ser dividido em dois períodos com diferentes tendências em termos de desmatamento e crescimento da agropecuária. O desmatamento observado na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica se concentrou no período de 2002 a 2005, que pode ser relacionado ao forte crescimento das culturas agrícolas na época. Nesse período o desmatamento nesses três biomas acumulou mais de 8,7 milhões de ha, atingindo quase 3 milhões de ha por ano. Já no período de 2005 a 2007, o desmatamento total foi de 5,8 milhões de ha, ou cerca de 2 milhões de ha por ano (Tabela 112).

**Tabela 112 - Desmatamento acumulado observado no período de 2002 a 2007 e 2005 a 2007 no Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica.**

Região	Desmatamento acumulado 2002 a 2007				Desmatamento acumulado 2005 a 2007			
	Cerrado	Amazônia	Mata Atlântica	Total	Cerrado	Amazônia	Mata Atlântica	Total
Sul	1	0	84	<b>85</b>	1	0	41	<b>41</b>
Sudeste	293	0	63	<b>356</b>	151	0	37	<b>188</b>
Centro-Oeste Cerrado	1,327	873	10	<b>2,210</b>	491	281	3	<b>775</b>
Norte Amazônia	313	9,477	0	<b>9,790</b>	94	3,886	0	<b>3,980</b>
Nordeste Litorâneo	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	<b>0</b>
Nordeste Cerrado	1,427	742	0	<b>2,169</b>	541	317	0	<b>858</b>
<b>Brasil</b>	<b>3,361</b>	<b>11,092</b>	<b>158</b>	<b>14,611</b>	<b>1,278</b>	<b>4,484</b>	<b>81</b>	<b>5,843</b>

Fonte: INPE e LAPIG-UFG. Elaboração: ICONE.

Os dados de desmatamento foram obtidos de três fontes distintas. Para a Amazônia, foram usados os dados do PRODES levantados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Como as taxas de desmatamento são divulgadas apenas por estados, estas foram distribuídas entre municípios de acordo com os dados de extensão de desmatamento divulgado por município. A diferença entre taxa de desmatamento e extensão de desmatamento se deve ao fato de que este último se refere apenas ao desmatamento observado, enquanto a taxa de desmatamento é calculada considerando o desmatamento observado e as áreas



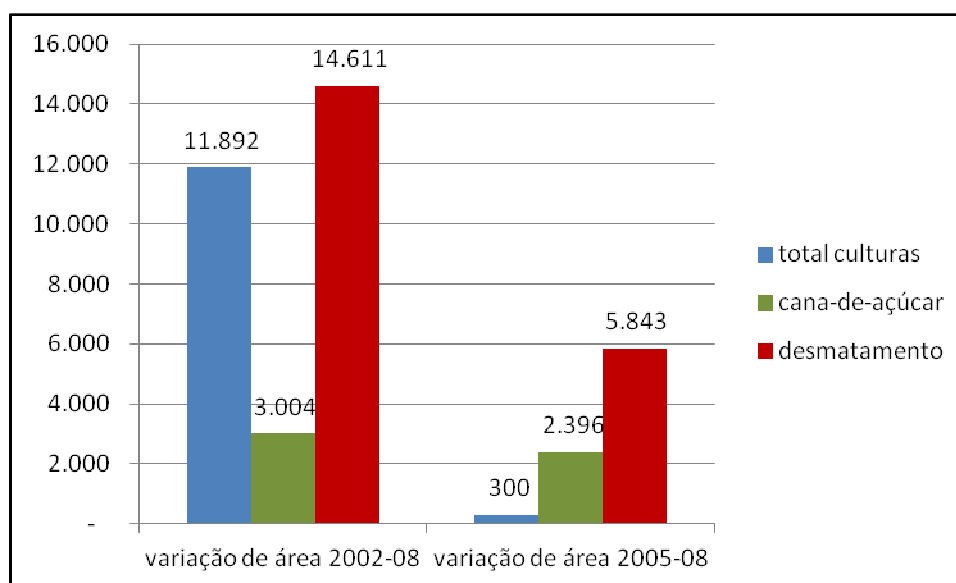
que não puderam ser observadas por nuvens<sup>61</sup>. A taxa de desmatamento estimada por município foi então agregada para microrregião.

Os dados de desmatamento do cerrado foram obtidos com o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás – LAPIG/UFG. O LAPIG faz estimativa de áreas de desmatamento do cerrado no âmbito do Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento (SIAD) utilizando interpretação de imagens MODIS (FERREIRA *et al.*, 2007)<sup>62</sup>. Tais dados foram disponibilizados para o ICONE por município e então agregados por microrregião.

Os dados de desmatamento da Mata Atlântica são divulgados no Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica produzidos pelo INPE e pela organização SOS Mata Atlântica. No Atlas são divulgados dados de desmatamento por município para períodos acumulados de 5 anos. Este desmatamento acumulado foi então transformado em desmatamento anual para então ser estimado para o período do estudo.

Considerando a descrição dos dados acima, verifica-se que o período mais adequado para analisar o impacto da expansão do etanol de cana-de-açúcar sobre o desmatamento é de 2005 a 2008. Isso porque nesse período observou-se crescimento expressivo da área de cana-de-açúcar e pouco crescimento das demais culturas, assim como uma taxa de desmatamento anual menos acentuada do que o pico observado em 2003 e 2004 (

**Figura 143).**



Fonte: IBGE, INPE e LAPIG-UFG. Elaboração: ICONE.

**Figura 143: Crescimento de cana-de-açúcar, total de culturas agrícolas (períodos de 2002 a 2008 e 2005 a 2008) e desmatamento no Brasil (períodos de 2002 a 2007 e 2005 a 2007)**

61 Informações detalhadas sobre as metodologias de cálculo de taxa de desmatamento e dos dados por município podem ser obtidas no site do PRODES (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>).

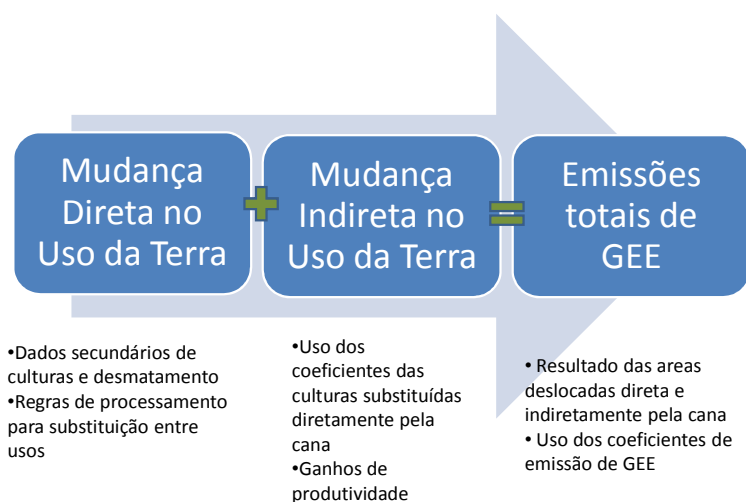
62 Mais informações sobre o SIAD estão disponíveis no site do LAPIG (<http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapigsite/index.php>).

Com relação à área de pastagens, após algumas tentativas de estimá-la para os anos de 2002, 2005 e 2008, optou-se por considerá-la resíduo. Isto é, considerou-se que toda a área desmatada será convertida em culturas ou pasto. Assim, para cada microrregião a área de pasto foi definida como sendo a diferença entre o desmatamento e o crescimento total das lavouras. Onde o crescimento das lavouras foi maior do que a área desmatada houve queda na pastagem, pois, por hipótese, as culturas cresceram sobre estas. De acordo com tal critério, verificou-se um crescimento de 5,5 milhões de ha no país, concentrado na região Norte Amazônica, a qual apresentou crescimento de 4,4 milhões. Isto porque a área desmatada lá foi maior do que o crescimento total das lavouras. Um resultado imediato dessa hipótese é que sempre ocorre expansão (ou manutenção) da área destinada à agropecuária. Associado a esse resultado, um aprimoramento futuro que deverá ser feito na análise aqui apresentada é incluir o montante de área com regeneração. Sabe-se que na Amazônia esse montante não é desprezível, indicando, portanto, que os coeficientes de expansão apresentados neste estudo estão superestimados.

### 3.2.3 Proposta Metodológica

A metodologia desse projeto consiste em três etapas, a fim de se obter os três objetivos específicos (Figura 144):

- 1ª etapa: Estimativa dos coeficientes de substituição de usos produtivos e vegetação nativa – mudança direta no uso da terra (LUC);
- 2ª etapa: Estabelecimento da relação de causa-efeito entre expansão da demanda de etanol e conversão de vegetação nativa – mudança indireta no uso da terra (ILUC);
- 3ª etapa: Mensuração das emissões totais (LUC + ILUC) de GEE associadas à expansão do consumo de etanol.



Fonte: Icone

Figura 144: Esquema metodológico da avaliação da mudança no uso da terra por alocação de usos.

Todos os cálculos e bases de dados utilizados para realização das etapas acima estão em arquivo Excel anexo ao presente documento e devem ser consultados em caso de dúvidas, ou análise de sensibilidade a mudanças de parâmetros e suposições adotadas.

### **3.2.3.1 Primeira etapa: Estimativa dos coeficientes de substituição de usos produtivos e vegetação nativa – mudança direta no uso da terra (LUC)**

Os passos para realizar a 1ª Etapa são divididos em:

- i. Levantamento e organização da base de dados secundários para culturas por microrregião do IBGE para as seguintes classes de atividades produtivas: soja, cana-de-açúcar, arroz, algodão, milho primeira safra, feijão primeira safra, florestas plantadas, outras lavouras temporárias e lavouras permanentes.
- ii. Levantamento e organização da base de dados do desmatamento para os biomas Amazônia e Cerrado, que são as duas regiões de maior avanço da fronteira agrícola, e Mata Atlântica.
- iii. Construção de uma base de dados com estimativa de variação de área de pastagens e área total por microrregião entre os anos de 2005 e 2008. Como explicado anteriormente, foi assumido que a variação de área de pastagem é a diferença entre área desmatada no período e crescimento do total de área de lavouras temporárias e permanentes.
- iv. Uma vez montada a base de dados por microrregião, são determinados os procedimentos de processamento dos dados para determinar a substituição entre usos e conversão de vegetação em cada microrregião.

O critério de construção da área de pastagens e área total agrícola leva a um universo limitado de possibilidades de substituição entre lavouras (soma líquida de todas as lavouras), pastagens e vegetação nativa. Existem três possibilidades, sendo adotado um procedimento de processamento de dados baseado na hipótese de proporcionalidade para cada um deles (Quadro 1).

**Quadro 1: Casos e procedimentos adotados**

Casos	$\Delta$ desmat.	$\Delta$ lavouras	$\Delta$ pasto	Procedimento adotado
Expansão de lavouras e pasto	(+)	(+)	(+)	Alocação proporcional de lavouras e pasto em vegetação natural.
Expansão exclusiva de lavouras	(+) ou 0	(+)	(-)	Alocação proporcional de lavouras em pasto e vegetação natural.
Expansão exclusiva de pasto	(+) ou 0	(-)	(+)	Alocação proporcional de pasto em lavouras e vegetação natural.

Fonte: ICONE.

O caso no qual há expansão de área total maior que a expansão de lavouras (portanto, expansão de pasto) é classificado como “expansão de lavouras e pasto” e o procedimento é de alocação proporcional de lavouras e pastagens sobre vegetação nativa. Quando a expansão de lavouras foi positiva e maior que a expansão de área total (portanto houve redução de pastagens), o crescimento das

lavouras foi alocado proporcionalmente em pasto e/ou vegetação natural. No caso onde houve redução de área de lavouras, o pasto expande proporcionalmente sobre lavouras e vegetação nativa, se for o caso.

Outra hipótese é que o grau de substituição entre lavouras é mais intenso do que entre lavouras e pecuária. Em outras palavras, a área de expansão de uma lavoura específica "A" é alocada nas outras lavouras que tiveram redução de área plantada na mesma microrregião (caso alguma outra atividade tenha sua área reduzida) e, uma vez esgotadas as possibilidades de alocação da expansão da lavoura "A" em outras lavouras, a área restante da lavoura "A" é alocada proporcionalmente entre pasto e vegetação nativa, a depender do caso. Essa hipótese se sustenta na evidência da necessidade de rotação entre culturas anuais, mas também pelo fato de haver similaridade entre tecnologias de produção nas culturas anuais.

A última hipótese é específica para a cana-de-açúcar. Estudos baseados em imagens de satélite indicam que a cana-de-açúcar não desloca diretamente vegetação nativa. Mais precisamente, NASSAR *et al.* (2008) indicam que a cana-de-açúcar cresce diretamente sobre pastagens e outras lavouras em proporções semelhantes (cerca de 50% cada), não havendo conversão direta de vegetação nativa. Baseado nessa evidência, assume-se que a cana-de-açúcar tem "prioridade" para ser alocada em área de pastagens e outras lavouras. Sucintamente, o procedimento de processamento de dados adotado foi o de alocar a área de cana-de-açúcar prioritariamente em proporção igual entre lavouras e pastos, e não havendo área "disponível" na microrregião, a alocação ocorria na categoria disponível e, apenas em última instância, sobre vegetação natural (Quadro 2).

As três primeiras colunas do Quadro 2 são declarações binárias (sim ou não) que comparam a expansão da cana-de-açúcar e outras variáveis, em cada microrregião. A primeira coluna aponta se a expansão da cana-de-açúcar cabe no total de diminuição de lavouras e pecuária. A segunda reporta se metade da expansão da cana cabe na redução de área de pasto. A terceira diz se metade da expansão da cana-de-açúcar cabe na redução de área de lavouras. Nessa lógica existem cinco combinações possíveis, que são as cinco linhas do quadro (excluindo as linhas de títulos).

As três últimas colunas relatam o procedimento adotado em cada um dos cinco casos. No caso em que metade da cana caiba simultaneamente na redução de pasto e lavouras (primeira linha), aloca-se metade da expansão da cana-de-açúcar em cada um. Caso a expansão de cana-de-açúcar seja menor ou igual ao total de redução de lavouras e pasto, porém a metade da expansão da cana-de-açúcar seja maior que a redução observada no pasto (segunda linha), aloca-se tudo o que é possível em pastagens e o restante em lavouras. A terceira linha é semelhante à segunda. Na quarta e quinta linha, caso a expansão da cana-de-açúcar seja maior que o total de redução de lavouras e pastagens, aloca-se tudo que é possível nesses dois usos e o restante em áreas previamente ocupadas por vegetação nativa.

**Quadro 2: Procedimentos adotados para alocação de área de cana-de-açúcar.**

Informação da expansão de área de cana-de-açúcar			Decisão de alocação da expansão de área de cana-de-açúcar		
> diminuição (lavouras + pasto)?	< 50% redução de pasto?	< 50% da redução de lavouras?	Em área de pasto	Em área de lavouras	Em área de vegetação natural
Sim	Sim	Sim	50% expansão da cana	50% expansão da cana	Zero
Sim	Não	Sim	100% da área cedida pelo pasto	Expansão de cana – área cedida pelo pasto	Zero
Sim	Sim	Não	Expansão de cana – área cedida pelas culturas	100% da redução de lavouras	Zero
Não	Sim	Não	100% da redução de pasto	100% da redução de lavouras	Expansão cana (-) redução pasto (-) redução lavoura
Não	Não	Sim			

Fonte: ICONE

O resultado da quarto passo são as áreas substituídas por cada uso da terra, para cada microrregião brasileira. Em resumo, a área de expansão de determinada cultura é distribuída sobre outros usos que recuaram no mesmo período.

- v. O quinto passo consiste na agregação das substituições obtidas por microrregião em matrizes de substituição direta de área para as regiões BLUM: Sul; Sudeste; Centro-Oeste Cerrado; Norte Amazônia; Nordeste Litorâneo; Nordeste Cerrado. Tal agregação é sumarizada em matrizes regionais de substituição de área. Essa matriz é definida de modo que a expansão de cada hectare de cada uso agrícola terá sua correspondente diminuição em outro uso agrícola ou conversão de vegetação natural.
- vi. O último passo desta etapa se refere à normalização da matriz encontrada no item anterior, de modo que se possa calcular os coeficientes de substituição de usos produtivos e vegetação nativa. Estes serão utilizados para calcular os efeitos sobre LUC e ILUC vindos da expansão de 1 hectare de cana-de-açúcar destinada ao consumo de etanol.

### **3.2.3.2 Segunda etapa: Estabelecimento da relação de causa-efeito entre expansão da demanda de etanol e conversão de vegetação nativa – mudança indireta no uso da terra (ILUC)**

As matrizes de coeficientes definidas na primeira etapa determinam a substituição direta entre os diferentes usos da terra. Para avaliar o efeito indireto do avanço da cana-de-açúcar no uso da terra é necessário calcular uma segunda etapa de substituição. Em outras palavras, é preciso avaliar quais foram as mudanças no uso da terra provocadas pelas atividades que a cana-de-açúcar substituiu diretamente.

A metodologia adotada no trabalho procurou rastrear as substituições diretas e indiretas (em área) causados pela expansão da cana-de-açúcar no período 2005 a 2008. A metodologia parte da matriz de substituição direta entre usos, identificando os usos deslocados pela cana-de-açúcar. O substituição direta de vegetação nativa por cana-de-açúcar é contabilizado no cálculo LUC da cana-de-

açúcar. Os outros usos substituídos pela cana-de-açúcar também geram desmatamento, sendo esse o contabilizado no ILUC da cana-de-açúcar.

Caso não houvesse ganho de produtividade, todo hectare deslocado pela cana-de-açúcar sobre outros usos deveria ser repostado e o ILUC seria igual a 1. No entanto, deve-se contabilizar o ganho de produtividade que os demais usos tiveram no período. Os ganhos de produtividade fazem com que um hectare em 2005 produza menos que o mesmo hectare em 2008, de modo que um hectare deslocado pela cana-de-açúcar em 2005 corresponda a menos de um hectare em 2008. Assim, da área deslocada pela cana no período 2005-08 desconta-se o ganho de produtividade de cada uso no período, obtendo-se uma área a ser repostada em 2008 menor que a área deslocada pela cana-de-açúcar em 2005.

Atenção especial deve ser dada à produtividade da pecuária, considerando que esta atividade é a maior demandante de terra no Brasil e aquela com a maior capacidade de intensificação da produção. A partir dos dados disponíveis do IBGE, foram calculados ganhos de produtividade da terra, em termos de produção de carne por hectare. Para isso, foram consideradas regionalmente a taxa de abate (números de animais abatidos em relação ao rebanho bovino total), rendimento carcaça (quilogramas produzidos de carne bovina por animal) e taxa de lotação (número de animais por hectare). A pecuária de leite foi considerada apenas no cálculo referente à taxa de lotação, por estar incluída no rebanho e nas pastagens totais. Ganhos de produtividade referentes à produção de leite por animal por ano, entre outros, não foram considerados neste cálculo. Apesar de isso tender a subestimar o ganho de produtividade da pecuária como um todo, optou-se por desconsiderar este fator devido à limitação de informações oficiais.

Uma vez calculada a área da cada um dos demais usos que deve ser repostada em 2008, aloca-se essa reposição de acordo com o padrão de expansão de cada lavoura deslocada pela cana-de-açúcar. Sendo  $x$  a substituição do uso da terra  $a$  diretamente pela da cana;  $y$  o ganho de produtividade do uso  $a$  e;  $z$  o percentual que o uso  $a$  deslocou de vegetação natural, temos intuitivamente que o ILUC da cana-de-açúcar sobre vegetação nativa "via uso  $a$ " ( $ILUCa$ ) seria

$$ILUCa = (x/y)*z.$$

A única restrição imposta à equação acima é que o  $ILUCa$  deve ser menor ou igual ao deslocamento de  $a$  sobre vegetação nativa em valores absolutos<sup>63</sup>. Essa restrição se impõe uma vez que o deslocamento de  $a$  sobre vegetação nativa tem que ser menor ou igual ao deslocamento total de  $a$  sobre vegetação nativa. Caso a restrição esteja ativa, a produção do produto  $a$  deslocado pela cana-de-açúcar que não foi repostada em área na mesma região deve ser realocada em outra região, via aumento de área ou variação de produtividade.

---

63 O valor do deslocamento de  $a$  sobre vegetação nativa em valores absolutos foi estimado e reportado na matriz de substituição direta.

## 1) Definições

Para todas as definições e cálculos descritos abaixo, teremos que os subscritos  $i$  e  $j$  representam usos da terra, de modo que quando  $i$  ou  $j$  for igual a

1 = Cana-de-açúcar;

2 = Soja;

3 = Milho;

4 = Algodão;

5 = Arroz;

6 = Feijão;

7 = Floresta plantada;

8 = Permanentes;

9 = Outras temporárias;

10 = Pasto;

11 = Desmatamento.

## 2) Apresentação das definições e operações adotados

### a) Matriz de substituição direta (valores absolutos)

Considere a matriz quadrada LUCabs, de ordem 11, que representa a substituição direta entre usos da terra, de elementos  $a_{ij}$ , onde  $i$  representa o uso que está sendo substituído pelo uso  $j$ .

Assim, o elemento  $a_{1,3}$ , por exemplo, indica a área de cana-de-açúcar que está sendo substituída por milho.

Os elementos da diagonal principal representam o crescimento absoluto do uso  $j$  (nesse caso  $i=j$ , por definição).

Dessa maneira, temos que para cada vetor coluna  $j$ ,

$$\sum_{i=1}^{11} a_{i,j \neq i} - a_{i,i} = 0, \quad \text{para } j = 1, \dots, 11.$$

### b) Vetor de substituição líquida da cana-de-açúcar

Definindo o vetor coluna  $\mathbf{a} = a_{i \times 1}$ , para  $i = 1, \dots, 11$ , como os elementos da primeira coluna da matriz LUCabs

e o vetor linha  $\mathbf{b} = b_{1xj}$ , para  $j = 1, \dots, 11$ , como os elementos da primeira linha da matriz LUCabs. Assim, define-se o vetor coluna  $\mathbf{l}$ , que representa o crescimento líquido da cana-de-açúcar sobre os demais usos da terra como

$$\mathbf{l} = \begin{cases} \mathbf{a} - \mathbf{b}^t, & \text{se } \mathbf{a} > \mathbf{b} \\ \mathbf{0}, & \text{se } \mathbf{a} \leq \mathbf{b} \end{cases}$$

A definição acima é equivalente à:

$$l = a_{i1} - a_{1,i}, \quad \text{onde } i \in [1, 11].$$

c) Matriz substituição direta de valores relativos

A partir da matriz LUCabs define-se a matriz de substituição direta em valores relativos LUCrel, de mesma dimensão, que tem o mesmo significado da matriz LUCabs, porém, com os valores de cada elemento do vetor coluna normalizados (excluindo os elementos da diagonal principal), de maneira que

$$\sum_{i=1}^{11} b_{i,j \neq i} = 1.$$

Para tanto, para cada elemento  $b_{i,j}$ ,  $i \neq j$ , realizou-se a seguinte operação:

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^{11} a_{i,j}}, \quad \text{para } \forall i, j \neq 1 \text{ e } \forall i \neq j$$

Todos os elementos da diagonal principal são iguais a 1.

d) Matriz substituição direta, em valores relativos, sem cana-de-açúcar

Assim como a matriz LUCrel, a matriz quadrada LUCSCrel de ordem 11 informa a substituição direta entre usos da terra em valores relativos, porém, sem considerar a participação da cana-de-açúcar. Ela anula todos os elementos da primeira linha e todos os elementos da primeira coluna da matriz LUCrel. Os demais elementos  $c_{i,j}$  da matriz LUCSCrel são definidos como

$$c_{i,j} = \frac{b_{i,j}}{\sum_{i=2}^{11} b_{i,j}}, \quad \text{para } \forall i, j \neq 1 \text{ e } \forall i \neq j$$

e) Vetor de ganhos de produtividade

O vetor linha  $\mathbf{y}$  com 11 elementos representa o ganho de produtividade de cada uso da terra entre 2005 e 2008. Ele é indexado na mesma ordem de todas as matrizes, de modo que o elemento  $y_{1,3}$  indica o ganho de produtividade do milho entre 2005 e 2008. O cálculo do ganho de produtividade será usado nas etapas seguintes para se ter a quantidade de área de cada uso que deve ser realocada. O cálculo a ser realizado estima a área necessária para manter a mesma quantidade produzida em 2005, mas com a produtividade de 2008.

f) Matriz substituição indireta, em valores absolutos

A matriz de substituição indireta ILUCabs representa a quantidade de área de cada uso que é indiretamente deslocado pela cana-de-açúcar, já descontado o ganho de



produtividade. Para tal, divide-se cada elemento  $l_{i,1}$  do vetor,  $\mathbf{l}$ , de substituição direta líquida, pelo elemento correspondente  $y_{i,1}$  de ganhos de produtividade,  $\mathbf{y}$ , obtendo-se o vetor  $\mathbf{r}$  de ordem 11. O vetor  $\mathbf{r}$  representa o quanto de área de cada uso deve ser realocada sobre os demais (fora ele próprio e a cana-de-açúcar)<sup>64</sup> para repor o que foi perdido para cana-de-açúcar, uma vez descontado o ganho de produtividade. Cada elemento do vetor  $\mathbf{r}$  é construído de maneira que

$$r_{i,1} = y_{i,1} \times l_{i,1}, \forall i \in [1,11].$$

Em seguida, cada vetor coluna da matriz LUCSCrel é multiplicado pelo elemento correspondente do vetor coluna  $\mathbf{r}$ , obtendo-se os elementos  $k_{i,j}$  da matriz ILUCabs. Sucintamente podemos definir:

$$k_{i,j} = c_{i,j} \times r_{i,1}, \forall j \in [1,11].$$

Como exemplo, o elemento  $k_{2,11}$  representa a quantidade de desmatamento de soja que poderia ser teoricamente atribuído à cana.

#### g) Consistência e necessidade de realocação entre regiões

Da maneira como a matriz de ILUCabs foi construída, é possível que ela esteja gerando valores de substituição indireta que não respeitem os limites da matriz LUCabs.

Tomando como exemplo o caso em que  $k_{3,2} > a_{3,2}$ , teríamos que o efeito indireto da cana-de-açúcar sobre milho, via soja (cana substitui soja, que por sua vez substitui milho) seria maior que toda a substituição de milho por soja (elemento  $a_{3,2}$  da matriz LUCabs). Isto poderia ser considerado uma inconsistência, uma vez que a cana tem apenas responsabilidade parcial na substituição de milho por soja. É possível a ocorrência desse tipo de evento em situações onde a área da lavoura que é substituída por cana-de-açúcar teve sua área reduzida naquela região. O conceito de ILUC indicaria que a produção não repostada em uma determinada região seria repostada em outra.

Para controlar tal efeito, decidiu-se calcular: (1) a quantidade de produção de cada lavoura que deveria ser realocada em outras regiões e; (2) verificar se tal realocação necessitaria de expansão em área ou se apenas o ganho de produtividade da outra região seria suficiente para absorver a produção realocada.

O cálculo da produção que deve ser realocada entre regiões foi realizado da seguinte maneira: verificam-se todos os casos tais que a área onde o ILUC estimado é maior que o LUC em valores absolutos e soma-se a diferença, criando um estoque de área de cada lavoura em cada região. Em cada região  $z$ , para cada lavoura  $j$  realiza-se o seguinte procedimento:

$$\text{Area}_j^* = \sum_{i=1}^{11} k_{i,j} - a_{i,j}, \forall k_{i,j} > a_{i,j}.$$

64 Para o cálculo do ILUC, não é necessário considerar a quantidade de área que as demais lavouras cresceram sobre cana uma vez que esse valor já foi considerado no cálculo de do vetor  $\mathbf{l}$ .

A área excedente de cada lavoura  $j$  multiplicada pela respectiva produtividade é igual à produção de cada uma das seis regiões do BLUM que deve ser realocada,  $Q_j$ . A quantidade total a ser realocada no Brasil  $Q_{j, Brasil}$  como um todo é igual a soma das produções excedentes  $Q_j$  de cada uma das seis regiões BLUM.

$$Q_{j, Brasil} = \sum_{z=1}^6 Q_{j,z}, \text{ onde}$$

$z$  representa cada uma das regiões BLUM.

Por outro lado, compara-se a quantidade a ser realocada de cada lavoura ( $Q_{j, Brasil}$ ) com a quantidade oriunda de ganho de produtividade. A hipótese é que se a produção a ser realocada for menor que a quantidade oriunda do ganho de produtividade, não haveria a necessidade de expansão em área, pois toda a produção teria sido compensada por ganhos de produtividade. Para cada lavoura  $j$  e em cada região  $z$ , a produção advinda pelo ganho de produtividade  $Q'_{j,z}$ , pode ser representada pela equação:

$$Q'_{j,z} = A_{j,z} \times (y_{j,z}), \text{ onde}$$

$A_{j,z}$  indica a área ocupada pelo uso  $j$  na região  $z$  em 2005 e  $y_j$  representa o ganho de produtividade do uso  $j$  na região  $z$  entre 2005 e 2008. Naturalmente, tem-se que  $Q'_{j, Brasil}$  é igual soma de cada uma das regiões

$$Q'_{j, Brasil} = \sum_{z=1}^6 Q'_{j,z}.$$

Para todas as lavouras  $j$ , verificou-se que  $Q'_{j, Brasil} > Q_{j, Brasil}$ , não havendo necessidade de realocação de área entre regiões, uma vez que o ganho de produtividade já supriria a queda de produção causado pela cana-de-açúcar.

### 3.2.3.3 Terceira etapa: Metodologia do cálculo de emissões de GEE associadas à expansão do etanol no Brasil

Após a determinação das áreas deslocadas direta e indiretamente pela cana-de-açúcar em cada região, foram utilizados fatores de emissão de GEE para as mudanças no uso da terra de lavouras perenes, lavouras temporárias e pasto sobre vegetação nativa (Tabela 113, Tabela 114 e Tabela 115). Assim, para cada hectare determinado nas etapas anteriores como conversão de vegetação nativa devido ao avanço da cana-de-açúcar – direta ou indiretamente – foi multiplicado um fator de emissão correspondente ao uso do solo posterior a conversão. As emissões e remoções provenientes de conversões entre usos agropecuários também foram consideradas. Tais fatores de emissão representam a diferença nos estoques de carbono – acima e abaixo do solo – entre os diferentes usos da terra.

Importante mencionar que os fatores de emissão apresentados nas tabelas abaixo já se encontram definidos para as seis regiões do BLUM, o que permite sua utilização direta nos cálculos de emissões de LUC desenvolvidos neste estudo.

**Tabela 113 - Fatores de emissão de conversão de vegetação nativa, em T CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> em 30 anos.**

Região	Uso posterior do solo		
	Lavouras perenes	Lavouras temporárias	Pastos
Sul	235	407	239
Sudeste	253	395	257
Centro-oeste Cerrado	300	443	304
Norte Amazônia	616	784	620
Nordeste Litorâneo	155	267	159
Nordeste Cerrado	330	456	334

Fonte: HARRIS *et al.* (2009). Elaboração: ICONE.

**Tabela 114 - Fatores de emissão de conversão de lavouras perenes, em T CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> em 30 anos.**

Região	Uso posterior do solo	
	Lavouras temporárias	Pastagens
Sul	150	4
Sudeste	119	4
Centro-oeste Cerrado	116	4
Norte Amazônia	112	4
Nordeste Litorâneo	99	4
Nordeste Cerrado	97	4

Fonte: HARRIS *et al.* (2009). Elaboração: ICONE.

**Tabela 115 - Fatores de emissão de conversão de pastagens, em T CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> em 30 anos.**

Região	Uso posterior do solo	
	Lavouras temporárias	Lavouras perenes
Sul	150	-4
Sudeste	119	-4
Centro-oeste Cerrado	116	-4
Norte Amazônia	111	-4
Nordeste Litorâneo	98	-4
Nordeste Cerrado	96	-4

Fonte: HARRIS *et al.* (2009). Elaboração: ICONE.

Para determinar um fator de emissões de mudança no uso da terra para o etanol, é preciso dividir todas as emissões estimadas por tais mudanças pela produção total adicional de etanol. Assim, é determinado o chamado fator de ILUC marginal, isto é, a quantidade de GEE emitida por cada unidade adicional de etanol produzido. O fator de ILUC marginal pode ser calculado por unidade de volume (litros) ou por unidade energética (Megajoule – MJ), e aqui opta-se pelo segundo por representar melhor a relação entre emissões e conteúdo energético associado. Vale ressaltar que o fator de ILUC marginal é diferente do fator de ILUC médio, sendo que este

último é obtido dividindo o total de emissões do período por toda a produção de bicomcombustível.

### **3.2.4 Resultados**

#### **3.2.4.1 Padrão histórico de substituição entre os diversos usos agropecuários no Brasil e o avanço destes usos sobre vegetação nativa**

Os coeficientes de substituição são apresentados de duas formas:

- i. Variação absoluta em hectares: expansão em área de uma determinada atividade produtiva e seus efeitos na substituição de outras atividades e de vegetação nativa;
- ii. Coeficientes de substituição calculados a partir da variação de uma unidade de área (1 hectare).

A seguir são apresentadas as matrizes de substituição entre usos do solo (lavouras, pastagens e vegetação nativa) para as seis regiões brasileiras, em valores absolutos e em coeficientes. Conforme já mencionado, os dados se referem ao período de 2005 a 2008. No sentido da coluna, são as áreas ocupadas e no sentido das linhas são as áreas cedidas. A diagonal principal reporta os valores de crescimento absoluto de cada atividade (que não considera as microrregiões onde houve redução de área da atividade). Em cada coluna, os valores fora da diagonal principal indicam a área que cada um das atividades da "linha" cedeu para a atividade da "coluna". Em cada coluna, a soma dos elementos fora da diagonal principal é igual ao valor da diagonal principal, garantindo assim que haja um hectare cedido para cada hectare de expansão.

#### **Região 1 – Sul**

Como pode ser observado na matriz de substituição abaixo, houve um crescimento de 211 mil ha de cana-de-açúcar, sendo que a maior parte desse crescimento se deu sobre soja (110 mil). Também houve substituição sobre pastagens (40 mil ha), algodão (22 mil ha), e outras culturas temporárias (21 mil). No sentido das linhas, observam-se as áreas que a cana-de-açúcar cedeu para outras culturas: 4 mil ha para milho, 10 mil ha para pasto e assim por diante.

A cultura com maior expansão na região Sul é a pastagem, com 569 mil ha de acréscimo no período (2005 – 2008). Esse crescimento se deu principalmente sobre áreas de soja (246 mil ha), e em menor escala sobre milho (102 mil ha). Isso se explica pelo fato destas culturas terem apresentado queda de rentabilidade e, portanto, redução de área no período analisado.

**Quadro 3: Matriz de substituição de usos da terra para a Região 1 – Sul.**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	210.529	323	3.528	328	95	10	324	92	102	10.084	0
SOJA	109.597	118.991	204.513	105	37.922	2.948	39.317	4.721	16.040	245.588	0
MILHO	9.132	39.912	377.953	0	2.838	5.206	22.116	2.147	903	101.921	0
ALGOD	22.431	894	7.509	533	471	153	4.408	261	618	14.446	0
ARROZ	2.490	3.128	11.376	9	62.464	480	9.576	2.131	1.704	40.576	0
FEIJÃO	2.950	6.163	11.994	21	489	25.093	19.814	2.078	860	25.628	0
FLOR PLANT	1.534	19.808	14.362	1	4.509	3.136	345.896	2.111	418	67.341	0
PERMAN	1.869	1.232	3.696	68	706	154	4.654	37.181	892	11.836	0
OUTRAS TEMP	20.831	2.308	19.540	0	4.426	508	21.898	1.909	30.362	33.197	0
PASTO	39.695	42.695	96.966	0	10.727	11.441	210.680	20.550	8.606	569.152	0
DESM	0	2.529	4.468	0	282	1.057	13.109	1.182	219	18.535	41.381

Na matriz de coeficientes abaixo, pode-se verificar qual é o impacto no deslocamento das demais culturas frente a uma expansão de 1 hectare de uma dada cultura. Assim, para cada hectare de expansão de cana-de-açúcar, ocorre a substituição de 0,52 ha de soja, 0,04 ha de milho e 0,19 ha de pasto.

**Quadro 4: Matriz de coeficientes para a Região 1 – Sul.**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,01	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
SOJA	0,52	1,00	0,54	0,20	0,61	0,12	0,11	0,13	0,53	0,43	0,00
MILHO	0,04	0,34	1,00	0,00	0,05	0,21	0,06	0,06	0,03	0,18	0,00
ALGOD	0,11	0,01	0,02	1,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,00
ARROZ	0,01	0,03	0,03	0,02	1,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,07	0,00
FEIJÃO	0,01	0,05	0,03	0,04	0,01	1,00	0,06	0,06	0,03	0,05	0,00
FLOR PLANT	0,01	0,17	0,04	0,00	0,07	0,12	1,00	0,06	0,01	0,12	0,00
PERMAN	0,01	0,01	0,01	0,13	0,01	0,01	0,01	1,00	0,03	0,02	0,00
OUTRAS TEMP	0,10	0,02	0,05	0,00	0,07	0,02	0,06	0,05	1,00	0,06	0,00
PASTO	0,19	0,36	0,26	0,00	0,17	0,46	0,61	0,55	0,28	1,00	1,00
DESM	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	0,01	0,03	0,00

## Região 2 – Sudeste

A região sudeste é aquela com maior expansão de área de cana-de-açúcar, pouco mais de 1,7 milhão de ha. Como pode ser observado na matriz de substituição abaixo, esse crescimento se deu principalmente sobre pastagens: 900 mil ha deste uso foram cedidos para cana-de-açúcar. A cana também avançou cerca de 370 mil ha sobre soja e 116 mil sobre milho, e em menor proporção sobre outras culturas, além de 5 mil ha sobre vegetação natural.

**Quadro 5: Matriz de substituição de usos da terra para a Região 2- Sudeste.**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1.736.552	0	597	0	245	8	2.007	199	185	32.205	0
SOJA	371.119	37.754	42.022	9	19	2.137	38.708	7.161	16.253	63.860	0
MILHO	115.590	751	132.536	24	117	1.834	33.201	18.001	7.483	51.755	0
ALGOD	85.239	4.722	9.024	323	337	1.403	11.506	2.976	2.587	10.847	0
ARROZ	16.666	3.491	3.020	1	1.271	175	10.304	4.628	2.714	16.403	0
FEIJÃO 1a.	9.118	6	1.050	1	60	20.884	11.621	5.566	646	8.882	0
FLOR PLANT	76.348	1.791	4.635	287	10	2.426	866.293	5.346	2.333	517.210	0
PERMAN	75.936	52	3.050	1	60	935	24.371	115.798	956	66.809	0
OUTRAS TEMP	81.315	7.318	3.458	0	60	211	4.279	3.701	53.162	11.689	0
PASTO	900.131	2.825	61.056	0	249	10.671	697.684	62.063	16.154	897.594	0
DESM	5.091	16.798	4.624	0	114	1.082	32.611	6.157	3.850	117.933	188.260

Na matriz de coeficientes, podemos ver na primeira coluna a substituição da cana-de-açúcar sobre outros usos do solo. A cada 1 ha de avanço de cana, são deslocados 0,52 ha de pasto e praticamente nada de vegetação nativa. Já a soja, avança 0,07 e 0,44 ha sobre pasto e vegetação nativa, respectivamente, para cada hectare de expansão.

**Quadro 6: Matriz de coeficientes para a Região 2 – Sudeste**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
SOJA	0,21	1,00	0,32	0,03	0,02	0,10	0,04	0,06	0,31	0,07	0,00
MILHO	0,07	0,02	1,00	0,07	0,09	0,09	0,04	0,16	0,14	0,06	0,00
ALGOD	0,05	0,13	0,07	1,00	0,27	0,07	0,01	0,03	0,05	0,01	0,00
ARROZ	0,01	0,09	0,02	0,00	1,00	0,01	0,01	0,04	0,05	0,02	0,00
FEIJÃO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	1,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00
FLOR PLANT	0,04	0,05	0,03	0,89	0,01	0,12	1,00	0,05	0,04	0,58	0,00
PERMAN	0,04	0,00	0,02	0,00	0,05	0,04	0,03	1,00	0,02	0,07	0,00
OUTRAS TEMP	0,05	0,19	0,03	0,00	0,05	0,01	0,00	0,03	1,00	0,01	0,00
PASTO	0,52	0,07	0,46	0,00	0,20	0,51	0,81	0,54	0,30	1,00	1,00
DESM	0,00	0,44	0,03	0,00	0,09	0,05	0,04	0,05	0,07	0,13	0,00

### Região 3 – Centro-oeste cerrado

Na região Centro-oeste cerrado, a maior expansão foi da área de pastagens, cerca de 1,9 milhão de ha, enquanto a área de cana-de-açúcar cresceu 345 mil ha. A área de cana avançou principalmente sobre soja, arroz e pastagens.

**Quadro 7: Matriz de substituição de usos da terra para a Região 3 – Centro-oeste cerrado**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	344.825	3	261	271	0	0	77	340	389	9.350	0
SOJA	214.366	65.289	162.111	26.146	0	7.663	42.490	2.700	75.522	934.823	0
MILHO	8.291	45	284.921	157	0	10	1.771	286	1.212	8.101	0
ALGOD	21.652	1.651	21.388	51.802	11	764	2.331	483	7.089	73.885	0
ARROZ	32.361	42.712	31.224	24.542	235	1.212	8.149	5.538	36.771	159.151	0
FEIJÃO	422	23	216	18	0	12.181	183	13	284	806	0
FLOR PLANT	17.558	548	1.282	27	0	96	100.292	79	2.306	49.483	0
PERMAN	428	10	279	126	16	27	213	13.460	453	2.563	0
OUTRAS TEMP	21.582	0	6.026	151	0	243	527	375	160.991	40.781	0
PASTO	25.962	1.746	40.278	299	0	1.280	7.104	300	14.485	1.946.946	0
DESM	2.203	18.551	21.855	67	208	886	37.446	3.345	22.479	668.002	775.044

Na matriz de coeficientes, podemos ver na primeira coluna a substituição da cana-de-açúcar sobre outros usos do solo. A cada 1 ha de avanço de cana, são deslocados 0,62 ha de soja e apenas 0,01 ha de vegetação nativa. Já a soja, avança 0,28 ha sobre vegetação nativa, para cada hectare de expansão. Como se espera um considerável crescimento de cana-de-açúcar nessa região, a dinâmica aqui observada é muito importante para projetar o impacto da mudança no uso da terra no futuro.

**Quadro 8: Matriz de coeficientes para a Região 3 – Centro-oeste cerrado**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
SOJA	0,62	1,00	0,57	0,50	0,00	0,63	0,42	0,20	0,47	0,48	0,00
MILHO	0,02	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
ALGOD	0,06	0,03	0,08	1,00	0,05	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0,00
ARROZ	0,09	0,65	0,11	0,47	1,00	0,10	0,08	0,41	0,23	0,08	0,00
FEIJÃO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLOR PLANT	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	1,00	0,01	0,01	0,03	0,00
PERMAN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
OUTRAS TEMP	0,06	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	1,00	0,02	0,00
PASTO	0,08	0,03	0,14	0,01	0,00	0,11	0,07	0,02	0,09	1,00	1,00
DESM	0,01	0,28	0,08	0,00	0,88	0,07	0,37	0,25	0,14	0,34	0,00

#### Região 4- Norte Amazônia

Na Região Norte Amazônia ocorreu forte expansão das pastagens, cerca de 4,5 milhões de ha, enquanto a área de cana-de-açúcar cresceu apenas 21 mil ha. Esse pequeno crescimento de cana-de-açúcar se deu sobre arroz, soja e milho, nessa ordem de importância.

**Quadro 9: Matriz de substituição de usos da terra para a Região 4- Norte Amazônia**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	21.255	3	11	9	0	1	0	1.125	140	5.229	0
SOJA	8.108	139.205	5.617	6.067	187	466	0	3.262	25.291	121.256	0
MILHO	3.047	262	66.632	337	1.219	469	811	10.201	8.938	82.875	0
ALGOD	10	63	3	33.992	0	0	0	12	5	2.016	0
ARROZ	9.294	96.718	37.953	27.444	1.638	1.857	6.896	26.158	37.264	319.346	0
FEIJÃO	4	234	88	26	0	4.402	0	28	32	1.933	0
FLOR PLANT	173	1.479	2.165	8	0	0	34.941	79	1	523	0
PERMAN	85	58	706	0	0	746	0	59.241	2.277	24.930	0
OUTRAS TEMP	536	828	3.323	102	6	0	0	4.498	84.244	35.671	0
PASTO	0	0	12	0	13	0	0	743	2.117	4.467.933	0
DESM	0	39.560	16.755	0	213	862	27.233	13.134	8.177	3.874.152	3.980.087

Verifica-se como o pasto tem forte impacto sobre o desmatamento, sendo que para cada hectare de avanço de pasto, 0,87 ha ocorreu sobre áreas previamente ocupadas com vegetação nativa.

**Quadro 10: Matriz de coeficientes para a Região 4- Norte Amazônia**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
SOJA	0,38	1,00	0,08	0,18	0,11	0,11	0,00	0,06	0,30	0,03	0,00
MILHO	0,14	0,00	1,00	0,01	0,74	0,11	0,02	0,17	0,11	0,02	0,00
ALGOD	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARROZ	0,44	0,69	0,57	0,81	1,00	0,42	0,20	0,44	0,44	0,07	0,00
FEIJÃO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLOR PLANT	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERMAN	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,17	0,00	1,00	0,03	0,01	0,00
OUTRAS TEMP	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,00	0,01	0,00
PASTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	1,00	1,00
DESM	0,00	0,28	0,25	0,00	0,13	0,20	0,78	0,22	0,10	0,87	0,00

## Região 5 – Nordeste Litorâneo

Na Região do Nordeste litorâneo, a área de cana-de-açúcar cresceu 147 mil ha, principalmente sobre pastagens (130 mil ha). Outras culturas que apresentaram crescimento no período foram milho (283 mil ha) e feijão (136 mil ha). No entanto, essa região não é muito dinâmica, principalmente porque as condições edafoclimáticas não são favoráveis para a agropecuária.



**Quadro 11: Matriz de substituição de usos da terra para a Região 5 – Nordeste Litorâneo**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	146.740	0	1.603	1	204	753	1	813	1.008	32.018	0
SOJA	46	302	16	0	0	0	0	0	88	0	0
MILHO	2.545	0	282.653	3	57	1.396	0	1.267	5.740	9.986	0
ALGOD	1.614	23	13.663	723	277	3.303	742	2.751	6.224	8.328	0
ARROZ	287	0	5.144	102	8.534	2.467	0	2.083	739	778	0
FEIJÃO	53	0	386	4	32	136.903	0	571	613	4.568	0
FLOR PLANT	0	0	0	0	0	0	9.393	0	0	0	0
PERMAN	5.233	0	5.460	16	20	1.642	419	54.559	3.242	7.666	0
OUTRAS TEMP	3.820	0	10.770	110	87	8.144	1.169	2.989	108.327	5.132	0
PASTO	133.142	279	245.611	486	7.858	119.198	7.063	44.084	90.672	68.476	0
DESM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

O coeficiente de substituição de cana-de-açúcar sobre pasto no Nordeste Litorâneo é 0,91, valor bastante alto. Como não houve desmatamento observado nessa região, o pasto responde por toda a diferença de crescimento ou retração das áreas de culturas agrícolas.

**Quadro 12: Matriz de coeficientes para a Região 5 – Nordeste Litorâneo**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,47	0,00
SOJA	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MILHO	0,02	0,00	1,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,05	0,15	0,00
ALGOD	0,01	0,08	0,05	1,00	0,03	0,02	0,08	0,05	0,06	0,12	0,00
ARROZ	0,00	0,00	0,02	0,14	1,00	0,02	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00
FEIJÃO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,00
FLOR PLANT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERMAN	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,04	1,00	0,03	0,11	0,00
OUTRAS TEMP	0,03	0,00	0,04	0,15	0,01	0,06	0,12	0,05	1,00	0,07	0,00
PASTO	0,91	0,92	0,87	0,67	0,92	0,87	0,75	0,81	0,84	1,00	1,00
DESM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

### Região 6- Nordeste Cerrado

A área de cana-de-açúcar cresceu 43 mil ha, em sua maioria sobre pastagens e arroz. O maior crescimento na Região foi de pastos com 920 mil ha.

**Quadro 13 : Matriz de substituição de usos da terra para a Região 6- Nordeste Cerrado**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	42.843	27	227	2	8	118	1	1.037	1.244	412	0
SOJA	1.501	151.919	2.892	2.002	73	381	17	671	2.167	28.525	0
MILHO	3.334	744	119.150	1.225	9	1.744	729	7.614	6.813	51.422	0
ALGOD	1.395	200	3.504	108.866	8	3.201	0	8.296	5.664	24.472	0
ARROZ	10.531	31.666	13.162	14.213	14.309	8.830	2.082	6.233	13.725	72.976	0
FEIJÃO	2.888	709	11.919	37	55	57.989	236	14.278	2.376	103.622	0
FLOR PLANT	1.896	0	0	0	0	0	89.482	2	0	2	0
PERMAN	314	56	374	32	0	329	3	220.101	569	1.477	0
OUTRAS TEMP	2.109	1.714	10.319	202	9	2.760	0	19.653	116.305	77.068	0
PASTO	16.438	23.920	23.429	273	5.736	13.795	86.354	158.838	63.668	919.502	0
DESM	2.437	92.883	53.325	90.881	8.410	26.830	61	3.479	20.078	559.528	857.911

Nesta região os coeficientes de expansão, isto é, os coeficientes de substituição de culturas sobre vegetação nativa são relativamente elevados. Tal fato é característico de regiões de fronteira agrícola.

**Quadro 14: Matriz de coeficientes para a Região 6- Nordeste Cerrado.**

	CANA	SOJA	MILHO	ALGOD	ARROZ	FEIJÃO	FLOR PLANT	PERMAN	OUTRAS TEMP	PASTO	DESM
CANA	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
SOJA	0,04	1,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00
MILHO	0,08	0,00	1,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,06	0,06	0,00
ALGOD	0,03	0,00	0,03	1,00	0,00	0,06	0,00	0,04	0,05	0,03	0,00
ARROZ	0,25	0,21	0,11	0,13	1,00	0,15	0,02	0,03	0,12	0,08	0,00
FEIJÃO	0,07	0,00	0,10	0,00	0,00	1,00	0,00	0,06	0,02	0,11	0,00
FLOR PLANT	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERMAN	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
OUTRAS TEMP	0,05	0,01	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,09	1,00	0,08	0,00
PASTO	0,38	0,16	0,20	0,00	0,40	0,24	0,97	0,72	0,55	1,00	1,00
DESM	0,06	0,61	0,45	0,83	0,59	0,46	0,00	0,02	0,17	0,61	0,00

Comparando as diferentes regiões, a pastagem cedeu mais áreas para cana, em termos relativos, na região Nordeste Litorâneo (0,91), Sudeste (0,52) e Nordeste Cerrado (0,38). Esse coeficiente significativamente alto indica a importância da intensificação da pecuária como instrumento de anulação do efeito indireto da cana sobre vegetação natural. Nas regiões Centro-oeste Cerrado, Sul e Norte Amazônia esse coeficiente foi baixo ou nulo, e, portanto, as lavouras cederam mais do que nas demais regiões.

Como foi verificado nas matrizes acima, a cana-de-açúcar teve pouca influencia no desmatamento em todas as regiões – afinal, pela própria pressuposição da metodologia e em função das evidências existentes de que a cana-de-açúcar não converte vegetação natural diretamente, as áreas da lavoura foram alocadas primeiro sobre os usos do solo que diminuíram e, apenas quando não havia áreas cedidas, a cana foi alocada sobre áreas de vegetação nativa.

### 3.2.4.2 Efeito indireto da mudança no uso da terra causada pela expansão de cana-de-açúcar para etanol

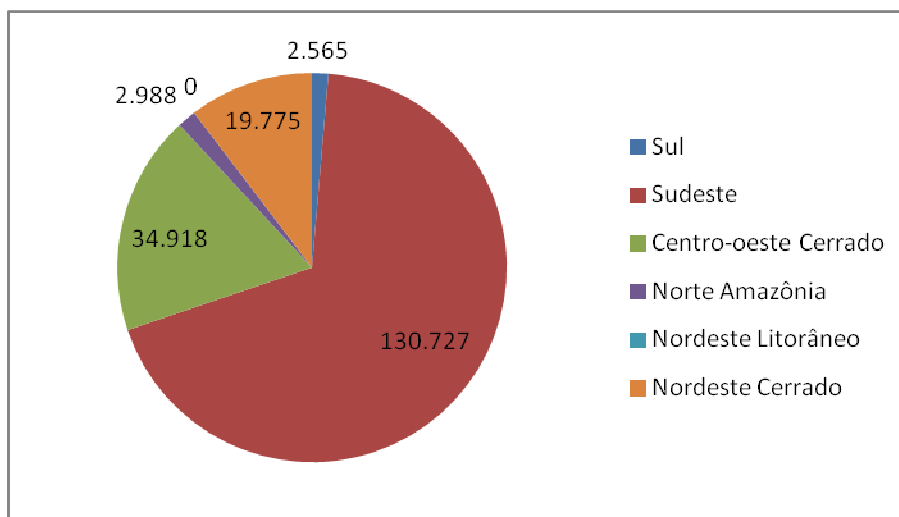
Seguindo a metodologia descrita para a segunda etapa, foram estimadas as mudanças no uso da terra para cada região devido ao avanço da cana-de-açúcar no Brasil (a contribuição do etanol e do açúcar no avanço da cana-de-açúcar são separadas posteriormente). Foram avaliadas as mudanças no uso da terra causadas por todos os usos diretamente deslocados pela cana-de-açúcar. Verificou-se que a conversão de vegetação nativa causada indiretamente pela cana-de-açúcar é muito maior - cerca de 20 vezes - do que a conversão provocada diretamente (Tabela 116).

É importante ressaltar que a conversão direta de vegetação nativa estimada é mínima (9,7 mil ha) e quase a totalidade da conversão do Brasil ocorreu de maneira indireta (181 mil ha). As maiores participações de conversão de vegetação nativa ocorreram nas regiões onde o crescimento da cana-de-açúcar foi mais acentuado, Sudeste e em menor escala Centro-oeste Cerrado (Figura 145). Conforme discutido no tópico g da do sub-capítulo 3.2, para o período analisado, não houve a necessidade de realocar entre regiões a área excedente das lavouras substituídas por cana-de-açúcar, uma vez que o ganho de produtividade foi suficiente para garantir um crescimento da produção dos demais produtos entre 2005 e 2008 superior a queda de produção causada pela expansão da cana-de-açúcar. Isto significa que, no período analisado e especificamente para o ILUC da cana-de-açúcar, não houve efeito indireto entre as regiões.

**Tabela 116 - Expansão líquida de cana-de-açúcar e conversão de vegetação nativa a ela associada, direta e indiretamente nas diferentes regiões do Brasil, no período de 2005 a 2008 (ha).**

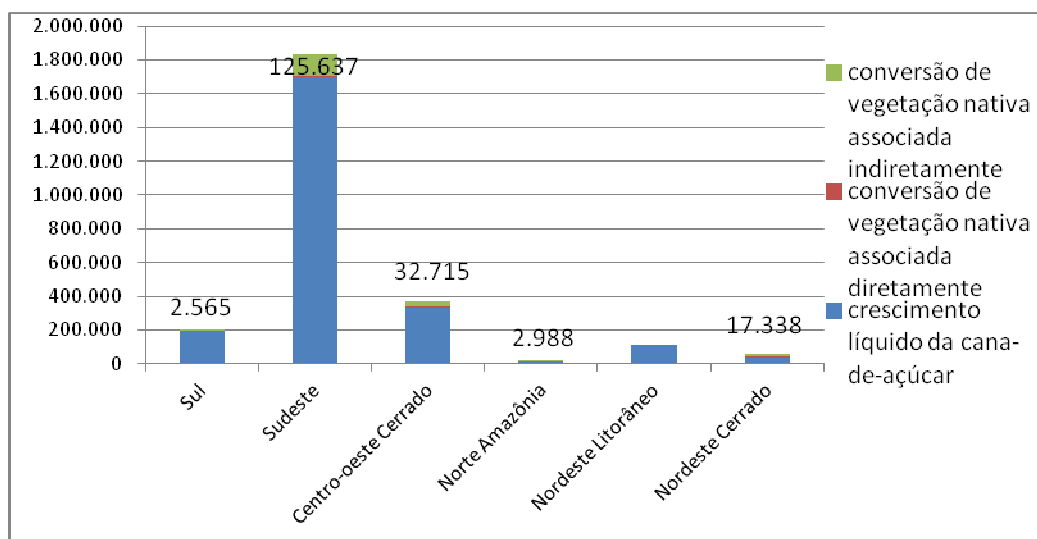
Região	Crescimento líquido da cana-de-açúcar	Conversão de vegetação nativa associada		Relação entre conversão de vegetação nativa e crescimento de cana-de-açúcar		
		Diretamente	Indiretamente	Conversão direta	Conversão indireta	Conversão total
Sul	195.644	0	2.565	0%	1,31%	1,31%
Sudeste	1.701.105	5.091	125.637	0,30%	7,39%	7,68%
Centro-oeste Cerrado	334.134	2.203	32.715	0,66%	9,79%	10,45%
Norte Amazônia	14.737	0	2.988	0,00%	20,28%	20,28%
Nordeste Litorâneo	110.339	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
Nordeste Cerrado	39.768	2.437	17.338	6,13%	43,60%	49,72%
Brasil	2.395.726	9.731	181.243	0,41%	7,57%	7,97%

Em termos relativos, no entanto, verificou-se que na região Nordeste Cerrado a área de vegetação nativa convertida foi quase a metade da área de expansão da cana-de-açúcar, enquanto no Sudeste foi inferior a 8% (Tabela 116). Essa diferença em termos relativos entre as regiões brasileiras pode ser explicada pela maior ou menor competição com outras culturas. Assim, nas regiões onde as demais culturas e o pasto diminuíram, a expansão da cana-de-açúcar teve menos impacto na conversão de vegetação nativa. Essa diferença também se deve ao desmatamento acumulado na região, pois de acordo com a metodologia aqui proposta o desmatamento total é distribuído entre os diferentes usos da terra proporcionalmente ao seu crescimento.



**Figura 145: Conversão de vegetação nativa causada direta e indiretamente pela expansão da cana-de-açúcar no Brasil entre 2005 e 2008 (ha).**

Assim, verifica-se que o efeito indireto na mudança no uso da terra é muito menos do que proporcional, isto é, para cada hectare de cultura ou pasto deslocado pela cana-de-açúcar menos de 0,08 ha são então transformados em desmatamento no Brasil (Tabela 116 e Figura 146). A Figura 146 apresenta as estimativas de conversão de vegetação natural ocasionada pela expansão da cana-de-açúcar. A conversão de vegetação nativa associada indiretamente se refere ao desmatamento causado diretamente por outras atividades mas fruto da substituição por cana-de-açúcar. Já a conversão de vegetação nativa associada diretamente se refere ao LUC ocasionado diretamente pela cana-de-açúcar (ambos apresentados na Tabela 114).



Fonte: ICONE

**Figura 146: Expansão líquida de cana-de-açúcar e conversão de vegetação nativa a ela associada, direta e indiretamente nas diferentes regiões do Brasil, no período de 2005 a 2008 (ha), com destaque para a conversão indireta (ILUC).**

### 3.2.4.3 Emissões de GEE associadas à expansão do etanol no Brasil – fator de ILUC

Por fim, as áreas de vegetação nativa convertidas foram transformadas em emissões de GEE seguindo os fatores de emissão descritos da Tabela 113. Para as mudanças no uso da terra, foram também consideradas as emissões provenientes da substituição entre culturas e pasto. Neste caso, as emissões foram mais que compensadas pelas remoções advindas da substituição de pastagens por cana-de-açúcar. Assim, as mudanças no uso da terra causadas diretamente pela expansão da cana-de-açúcar entre 2005 e 2008 removeram cerca de 47 mil toneladas de carbono (Tabela 117).

**Tabela 117 - Emissões de GEE da mudança do uso da terra provocado pela expansão da cana-de-açúcar no período de 2005 a 2008 e consequente fator de emissões associado.**

Emissões pela mudança direta no uso da terra (LUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	-46.884
Emissões pela mudança indireta no uso da terra (ILUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	2.462.069
Emissões totais pela mudança no uso da terra (LUC + ILUC) (Ton CO <sub>2</sub> eq)	2.415.186
Produção adicional de ATR para etanol (Ton)	19.672.059
Conteúdo energético da produção adicional de etanol (Giga Joule)	248.330.532
Fator ILUC (g CO <sub>2</sub> eq / MJ)	7,63

Considerando as emissões totais de mudanças no uso da terra (direta e indireta – LUC e ILUC), foram emitidas no período 2,4 milhões de toneladas de carbono. Como essa emissão se refere a toda a expansão da cana-de-açúcar, foi aplicado um fator de desconto de 0,79 para considerar apenas as emissões associadas à produção adicional de cana-de-açúcar para etanol. Tal coeficiente foi estimado a partir das estatísticas fornecidas pela UNICA referentes ao conteúdo de ATR para etanol anidro, hidratado e açúcar.

**Assim, foi obtido um fator de ILUC para o etanol de cana-de-açúcar de 7,63 g CO<sub>2</sub>eq/MJ. Esse fator representa que, para cada megajoule adicional de etanol produzido, foram emitidos 7,63 g CO<sub>2</sub>eq. devido a mudanças no uso da terra.** Tal fator foi obtido contabilizando todas as emissões e remoções diretas e indiretas provenientes de conversão de vegetação nativa e da substituição entre as diferentes classes de uso da terra (lavouras temporárias, lavouras permanentes e pastagens). Considerando apenas as emissões provenientes de conversão de vegetação nativa, obteve-se um fator de ILUC de 6,48 g CO<sub>2</sub> eq/MJ. Tal exercício foi feito devido as incertezas sobre as emissões associadas a troca de usos agropecuários, que são muito dependentes das práticas de manejo adotadas.

O fator de ILUC aqui estimado não deve, no entanto, ser confundido como o ILUC médio, o qual considera toda a produção de etanol e não apenas a produção adicional. O fator de ILUC médio obtido a partir dos dados e da metodologia deste estudo seria consideravelmente inferior a 7,63 g CO<sub>2</sub> eq/MJ.

### 3.2.5 Aplicações e Considerações finais

Este estudo estimou um fator de ILUC de 7,63 g CO<sub>2</sub>/MJ de etanol produzido, para uma expansão da produção de etanol de 248 milhões de Giga Joules. Essa expansão gerou, em conjunto com a demanda adicional de açúcar para o mesmo período, um crescimento de 2,4 milhões de ha de cana-de-açúcar e um LUC+ILUC total estimado de 191 mil ha.

Além dos resultados concretos finais, este estudo gerou importantes contribuições do ponto de vista metodológico. A organização da base de dados e sua análise descritiva apresentada no capítulo 2 trazem importantes elementos para a discussão de ILUC de bicomcombustíveis no Brasil e no mundo. O estudo mostra que é muito importante que seja feito um esforço contínuo para divulgar análises baseadas nos melhores dados disponíveis sobre a dinâmica da expansão agropecuária no Brasil e o papel da cana-de-açúcar nesse cenário.

Com relação ao desenvolvimento do método de alocação para avaliar mudança no uso da terra, constatamos que tal trabalho tem bastante potencial e abre diversas possibilidades. No contexto do método adotado, foi verificado que quanto menor for a expansão da cana em relação as demais lavouras e, conseqüentemente, ao desmatamento, maior o impacto da expansão relativa de um hectare de cana. Da mesma forma, quanto menos as lavouras expandirem dado um certo desmatamento, mais o pasto expande e, em conseqüência, aumenta o desmatamento direto atribuído às lavouras. Assim, verificou-se que a metodologia aqui desenvolvida é muito sensível ao dado de desmatamento, especialmente por termos adotado o pasto como resíduo. O mesmo método aplicado para o período de 2002 a 2008, o qual apresentou desmatamento acumulado muito maior, resultaria em um fator de ILUC muito maior, apesar da expansão da cana-de-açúcar ter sido muito pequena entre 2002 e 2005. Se houvesse disponibilidade de dados sobre a evolução anual da área com pastagens, seja via levantamento de dados secundários por amostragem, seja por sensoriamento remoto, o resultado poderia mudar consideravelmente. Esta é uma melhoria que poderá ser feita no futuro quando tal série estiver disponível.

A sensibilidade do fator de ILUC ao montante de área desmatada não chega a ser uma surpresa. A lógica da metodologia de alocação pressupõe que o total de área desmatada precisa ser alocado entre usos produtivos e, dado que alguns usos produtivos apresentam redução líquida de área total, mas aumento de área em algumas regiões, um maior desmatamento sempre vai resultar em maior efeito no uso da terra ocasionado por qualquer atividade agropecuária em expansão. Assim, diversos períodos resultarão, necessariamente, em diversos fatores de ILUC. Desta forma, uma vez que este estudo mostrou que a metodologia aqui proposta é consistente e tem aplicações práticas para a mensuração do LUC e ILUC, ela poderia ser replicada para diversos períodos com objetivo de avaliar a sensibilidade do fator ILUC ao montante desmatado. No entanto, é importante salientar que a metodologia faz um pressuposto de que cada atividade agropecuária necessariamente contribui, indiretamente, para o avanço de fronteira. Assim, a escolha de períodos com desmatamento muito elevado, obrigatoriamente, leva a uma superestimação desta contribuição indireta. A opção metodológica feita neste estudo foi escolher o período de maior expansão da cana-de-açúcar que, coincidentemente, foi também o período de menor desmatamento (se utilizados

dados de 2000 em diante). Embora não tenhamos feito análises quantitativas para avaliar a relação de causa-efeito entre cana-de-açúcar e conversão de vegetação natural, fica evidente que são outras atividades produtivas que contribuem, direta e indiretamente, de forma mais intensa sobre o avanço da fronteira. Esta é também uma importante conclusão deste estudo, uma vez que ela reforça a ideia que, embora tenhamos calculado LUC e ILUC apenas para a cana-de-açúcar, o mesmo deveria ser feito para as demais atividades produtivas já que, como já dito, muitas delas apresentariam um LUC + ILUC por hectare de expansão maior do que o calculado para a cana-de-açúcar.

A metodologia desenvolvida pode e deve ser utilizada para análises de cenários futuros. A tendência observada a partir de 2005 é que as taxas de desmatamento estão queda. Mantida a tendência de queda nas taxas de desmatamento, fatores de ILUC futuros serão menores do que o valor encontrado neste estudo para o período de 2005 a 2008. Além disso, considerando que o período de 2005 a 2008 foi marcado por forte expansão na área de cana-de-açúcar, tendência não observada em 2009 e 2010, os fatores de ILUC futuro também tenderão a ser menores do que o calculado para este período. Isto ocorrerá porque a expansão da área de cana-de-açúcar no futuro, em relação a 2008, será proporcionalmente menor do que a expansão de 2008 em relação a 2005. Ou seja, para um crescimento equivalente na demanda de etanol no futuro em comparação com o crescimento observado de 2005 a 2008, proporcionalmente menos expansão em área será necessária resultando, assim, em um fator de ILUC menor.

Outra conclusão associada a este raciocínio diz respeito ao papel das pastagens no LUC + ILUC das demais atividades produtivas. Conforme observado nos resultados, as pastagens ainda são a atividade produtiva que mais converte diretamente vegetação nativa. Uma menor expansão espacial das pastagens leva a um menor desmatamento e, conseqüentemente, a um menor fator de ILUC. Este estudo chega à mesma conclusão de diversas outras análises que enfatizam a necessidade de se produzir mais carne bovina por hectare, freando o processo de expansão da pecuária de corte associado a maiores rebanhos e expansão em áreas de fronteira. Embora este estudo não tenha estimado a capacidade da pecuária de corte de expandir produção com diminuição de área, nem tampouco tenha explorado as sinergias que podem ser estabelecidas entre a produção de cana-de-açúcar e o confinamento de animais bovinos, ele indica que, do ponto de vista das emissões indiretas da mudança do uso da terra, a pecuária de corte precisa ganhar produtividade.

Outras informações sobre conversão de vegetação nativa e substituição entre culturas provenientes de imagens de satélite também poderiam melhorar bastante o processamento e, assim, a confiança nos resultados do método desenvolvido. Da mesma forma como as informações sobre áreas deslocadas pela cana-de-açúcar obtidas pelo CANASAT foram aproveitadas no critério de substituição entre culturas, estudos similares para outras culturas também poderiam contribuir para a melhoria do critério definido nesse estudo.

De qualquer forma, a estimativa do fator de ILUC aqui apresentada é um importante indicativo da magnitude dos efeitos da mudança no uso da terra do etanol de cana-de-açúcar. O valor encontrado de 7,63 g CO<sub>2</sub>eq/MJ é consideravelmente mais baixo do que outras estimativas e, assim, indica que outras estimativas podem estar superestimadas. Existem diversas aplicações práticas para os resultados aqui obtidos. O fator de ILUC poderá ser contabilizado

em análises de ciclo de vida que não incorporem as mudanças no uso da terra. Além disso, o fator de ILUC poderá ser muito útil no âmbito das discussões para desenvolver critérios de certificação para bicomcombustíveis. Quando tais critérios incluírem a adoção de medidas para evitar ILUC, poderá ser acrescido o fator de ILUC para aqueles produtores que não adotarem tais medidas.

Evidentemente, do ponto de vista de formulação de critérios de certificação, a incorporação de um fator de ILUC somente fará sentido se aplicado, com metodologia homogênea, para todas as matérias-primas utilizadas para biocombustíveis. Nesse ponto aparece mais uma melhoria que precisa ser desenvolvida na metodologia aqui apresentada. Devido ao seu grau de detalhamento, a metodologia deste estudo não pode ser facilmente replicada para cálculo de um fator de ILUC que leve em conta as mudanças globais no uso da terra. No entanto, considerando que o Brasil é um dos poucos países onde a fronteira agrícola ainda se expande e, portanto, é no Brasil que grande parte do ILUC causado por biocombustíveis de outros países deve ocorrer, é possível aplicar essa metodologia para avaliar o ILUC de terceiros países na mudança do uso da terra no Brasil.

Embora não seja objetivo deste projeto, os coeficientes serão utilizados pelo ICONE para se recalcularem os parâmetros (elasticidades) que definem os efeitos competição (substituição) e escala (avanço na fronteira) contidos no Modelo de Uso da Terra para Agricultura Brasileira (BLUM – *Brazilian Land Use Model*). Para este cálculo, os coeficientes serão associados às variações de preços. Finalmente, o resultado pode ser utilizado para simular as emissões que seriam geradas (e também as evitadas) em uma análise prospectiva, a partir de cenários futuros de demanda por etanol. Essa última opção, porém, tende a ser mais coerentemente analisada por meio de modelos econômicos e geográficos mais complexos.

Assim, tanto o desenvolvimento da metodologia de alocação para avaliar mudanças no uso da terra, como os resultados dela obtidos, contribuem para o atual debate de sustentabilidade de bicomcombustíveis. A metodologia faz um esforço para deixar explícitas as hipóteses, dificuldades e limitações das análises de mudança no uso da terra. O presente estudo é a primeira e única experiência de metodologia determinística (ou de alocação) específica para a realidade brasileira, além da única proposta com rigor conceitual dentro dessa abordagem. Com isso, o Brasil se consolida não somente como expoente da produção e exportação de bicomcombustíveis, como também das análises dos impactos ambientais dessa produção.



### **3.3 Indicadores de Sustentabilidade Agrícola para a Produção de Etanol - Um estudo de caso sobre o cumprimento das legislações ambientais: Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais e, Planos de Aplicação de Vinhaça na região de Piracicaba, SP e sobre as oportunidades a melhoria da contabilidade de carbono e para a redução das emissões dos gases de efeito estufa<sup>65</sup>**

#### **3.3.1 Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais**

##### **3.3.1.1 Contexto do Código Florestal – Áreas de Preservação Permanentes (APP) e Reservas Legais (RL): cumprimento das exigências legais e a importância destas áreas para a conservação da biodiversidade**

O processo de ocupação do Brasil e, portanto de desenvolvimento, caracterizou-se pela falta de planejamento e conseqüente substituição dos recursos naturais, particularmente das florestas tropicais e outros biomas, por outros usos da terra. Ao longo da história do País, a cobertura florestal nativa, representada pelos diferentes biomas, foi sendo fragmentada e cedendo espaço para as culturas agrícolas, as pastagens e as cidades (MARTINS, 2001).

O declínio da biodiversidade que preocupa a comunidade científica em todo o mundo é mais acentuado nos países tropicais. Se por um lado estes habitats contêm mais da metade das espécies da biota mundial, por outro apresentam as mais altas taxas de degradação, resultando na extinção de muitas espécies e, conseqüentemente, na perda irreversível da diversidade biológica (WILSON, 1997).

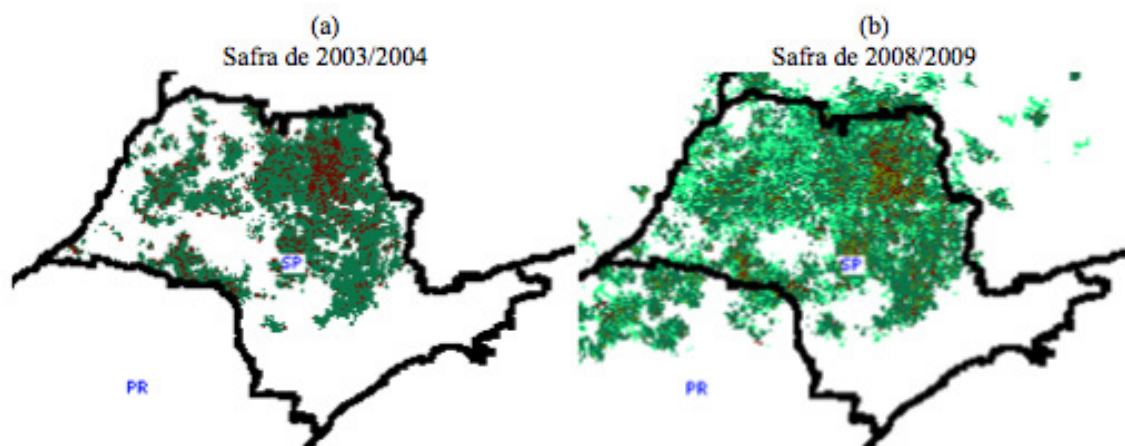
Segundo Zorzetto et al. (2003) a cobertura florestal nativa em São Paulo equivale à 13,94% (34,6 mil km<sup>2</sup>) da área do Estado de São Paulo. Por outro lado, a área preservada neste início de século é 3,8% maior (1,2 mil km<sup>2</sup>), que há 10 anos atrás com uma boa recuperação da Mata Atlântica principalmente do Vale do Paraíba, a leste do Estado com ganho de 27% sobre a década anterior. Porém, a situação da vegetação natural é preocupante a norte e noroeste do Estado, com perdas de 11% a 16% por Região Administrativa e na Savana (Cerrado), que ocupa atualmente menos de 1% do território paulista, sendo que há um século, cobria 20% do Estado.

A região de Piracicaba, localizada na depressão periférica do Estado de São Paulo, é cenário deste processo de intenso de ocupação de áreas, desflorestamento, desenvolvimento agrícola, urbano e industrial. Atualmente nesta paisagem resta uma cobertura florestal reduzida composta de fragmentos florestais pequenos, isolados, com grande influência dos efeitos de borda e com capacidade de conservação da biodiversidade pouco efetiva. Hoje a região sofre ainda como conseqüência deste processo graves impactos ambientais, como a perda da qualidade da água, a diminuição da biodiversidade e a exaustão e degradação do solo pelo monocultivo, principalmente com a cultura da cana de açúcar (AMADOR & VIANA, 1998).

---

65 Pesquisador responsável: Weber A. Neves do Amaral (ESALQ/USP).

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar. Em média, 55% da produção brasileira destina-se à produção de álcool e 45% à produção de açúcar. A demanda interna pelo álcool tem crescido devido ao aumento da frota, principalmente de carros *flex-fuel*. O Estado de São Paulo, hoje apresenta as produtividades mais altas do País, devido ao uso de variedades especialmente desenvolvidas para as condições climáticas da região, além de estar próximo aos centros fornecedores de insumos agrícolas e possuir mão de obra capacitada em grande quantidade. A Figura 147 apresenta a expansão da área plantada com cana de açúcar no estado de São Paulo.



**Figura 147 - Expansão das áreas de cultivo da cana de açúcar sobre o Estado de São Paulo entre 2003 (a) e 2009 (b). Fonte: página do CANASAT na internet (<http://www.dsr.inpe.br/canasat>).**

No caso do Estado de São Paulo, não existem registros de que a expansão da produção de cana de açúcar provoque desmatamento, uma vez que a cultura cresce basicamente em áreas já ocupadas por pastos e lavouras. Porém, de acordo com a legislação ambiental brasileira, as propriedades agrícolas devem recuperar ou compensar as Áreas de Preservação Permanente e das Reservas Legais nas terras que já são usadas de forma produtiva, ou seja, devem ser substituídas paulatinamente por florestas plantadas com espécies nativas por projetos devidamente cadastrados nos órgãos ambientais como projetos de restauração florestal, em áreas anteriormente cultivadas para diversos fins.

De acordo com a legislação ambiental brasileira, as propriedades agrícolas devem recuperar ou compensar as Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal (Código Florestal, 1961). A questão das áreas que devem compreender as Áreas de Preservação Permanente está resolvida, pois já existe um critério técnico definido legalmente (áreas acidentadas e as margens de cursos d'água), porém, para a definição das áreas que devem compreender a Reserva Legal, não existe nenhum critério estabelecido por lei, apenas baseando-se em porcentagem da área, de acordo com a região do país, sendo que para a região Sudeste, as áreas mínimas exigidas são de 20% da área da propriedade. Assim estas Reservas podem ser divididas e/ou ficar isoladas, sem cumprir, portanto seu importante papel para a conservação e para a provisão dos seus serviços ambientais associados, tais como armazenamento de carbono, conservação da água e da biodiversidade.

A recuperação da cobertura vegetal através de reflorestamento em Áreas de Preservação Permanente e áreas degradadas para compor Reserva Legal se torna necessária para garantir a conservação da biodiversidade, proteger os mananciais e promover melhorias na fertilidade, temperatura e umidade do solo (VALERI et al.,

2003), e em especial para a cumprimento das exigências legais, e desta forma, atendendo as exigências dos diferentes processos de certificação do etanol sendo discutidos e em andamento no Brasil e no exterior.

Reserva Legal pode ser definida, segundo a Medida Provisória nº. 1.956-50/00, como "área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativa". O percentual da área de cada propriedade ou posse rural que é necessário recompor e/ou preservar no Estado de São Paulo é de 20%.

Atualmente estão ocorrendo várias iniciativas de restauração e recuperação de áreas degradadas no Estado de São Paulo, especialmente voltadas para o cumprimento das exigências legais, demandadas pelos órgãos ambientais, em especial quanto as áreas de preservação permanentes (APPs). Porém ainda existe uma grande resistência dos agricultores e produtores rurais em reduzirem as suas áreas de cultivo para implantação das reservas legais (RL), cujos motivos e causas foram estudados neste projeto.

### **3.3.1.2 Objetivo**

O objetivo deste componente é avaliar se as exigências legais quanto ao cumprimento das APP e RL estão sendo seguidas pelos principais produtos de cana de açúcar na região de Piracicaba.

Este estudo visa, especificamente:

- identificar quais são os critérios seguidos para alocação e distribuição das áreas de Reserva Legal na região de Piracicaba para adequação ambiental;
- diagnosticar o que está sendo implantado no campo na região de Piracicaba, isto é, analisar a relação entre o numero de espécies sendo produzidas nos viveiros e espécies utilizadas nos projetos já implantados nos fragmentos;
- identificar como os critérios que otimizam os indicadores da biodiversidade poderiam contribuir para a adequação ambiental destas áreas de forma mais efetiva e portanto também contribuir para o atendimento das exigências da certificação quanto ao critério da biodiversidade.
- E identificar as oportunidades para estímulo e incentivo para recuperação destas áreas, tais como obtenção de créditos de carbono e contabilidade destes estoques de carbono nas análises de ciclo de vida da produção de etanol nesta região.

### **3.3.1.3 Metodologia e principais resultados encontrados**

Foi feito um levantamento de literatura sobre da legislação florestal (e ambiental) em nível federal, estadual (São Paulo) e municipal (região de Piracicaba) aplicada à área rural e em especial nos sistemas de produção da cana de açúcar. A região de Piracicaba engloba o município de Piracicaba e outros municípios vizinhos, incluídos na região administrativa de influencia do município, totalizando aproximadamente 100.000 ha, onde a cana de açúcar ocupa aproximadamente 72% do uso do solo agrícola.

Após a coleta de dados da literatura sobre os principais marcos regulatórios ambientais associados à produção de cana de açúcar, e entrevistas com produtores rurais e gestores de cooperativas agrícolas na região foi feito um diagnóstico do que está ocorrendo na região de Piracicaba, quanto ao atendimento das exigências do Código Florestal, especialmente quanto as APPs e RLs.

Estes dados coletados permitiram a identificação dos principais gargalos encontrados entre os proprietários rurais para averbação e restauração das APPs e RLs. Estas informações foram obtidos a partir de diferentes questionários semi-estruturados e dados coletados junto a Agencia Ambiental Paulista, regional de Piracicaba. Estes dados estão sendo ainda processados e estruturados para serem apresentados aos formuladores de políticas publicas no Estado de São Paulo sobre como e quais as alternativas viáveis para adequação ambiental das áreas agrícolas, que ainda não cumprem 100% das atuais exigências ambientais, na esfera estadual e federal.

Na primeira fase deste trabalho coberto por este relatório, foram aplicados questionários para três grupos principais de atores envolvidos com restauração florestal e portanto com adequação ambiental: cooperativas, instituições governamentais e instituições não governamentais que atuam na região e produtores rurais, totalizando uma amostra de 260 entrevistas conduzidas.

Nesta fase, as principais questões abordadas foram:

- Qual é o grau de cumprimento da atual legislação dentro da região de Piracicaba quanto a sua adequação do Código Florestal?
- Qual a situação florestal atual da região de Piracicaba quanto as Reservas Legais? E APPs?
- Quais os principais gargalos para adequação ambiental?
- Quais as oportunidades existentes para estímulo à adequação e para contabilização dos estoques de carbono dentro das análises de ciclo de vida do etanol produzido nesta região?

Para contribuir com as informações acima e para atender também aos critérios de certificação relacionados à biodiversidade, ainda se encontram em andamento, um diagnóstico da diversidade de espécies arbóreas que está sendo usada nos viveiros em relação à diversidade dos fragmentos que existem na região de Piracicaba. Também estão sendo entrevistados, os principais viveiros fornecedores de mudas arbóreas para restauração e recuperação florestal da região, envolvidos com adequação ambiental.

**Os principais resultados** (os quais ainda estão sendo processados e transformados em duas dissertações de mestrado e uma tese de doutorado) **deste diagnóstico** foram:

- a) Na região estudada, abrangendo uma área de 100.000 aproximadamente, a cana de açúcar é a principal atividade econômica de ocupação do solo, com aproximadamente 72%
- b) O cumprimento das exigências legais quanto às APPs está sendo atendido em 75% da área estudada, e nos próximos 10 anos, praticamente 100% destas

áreas estão sendo revertidas e ou restauradas em sua cobertura florestal, já que termos de ajuste de conduta vem sendo protocolados na Agencia Ambiental Paulista e os agricultores também tem abandonado o cultivo e manejo agrícola destas áreas para restauração florestal induzida ou espontânea.

- c) A restauração e a conservação das APPs vêm sendo estimuladas também pelo crescimento do uso da mecanização da colheita da cana, a qual não pode tecnicamente ser praticada em áreas com topografia acidentada e em áreas úmidas, próximas aos cursos d'água, as quais são mais sensíveis inclusive aos impactos das praticas de mecanização agrícola.
- d) A restauração das RLs é a principal problema para adequação ambiental para 100% dos entrevistados, produtores rurais, gestores das cooperativas agrícolas locais e dos agentes ambientais do Estado.
- e) Além de obrigatoriedade do abandono de 20% de suas áreas para uso florestal, em especial com florestas nativas, não passíveis de manejo e uso, e portando reduzindo a receita dos produtores rurais (independentemente) do uso atual do solo), não existem instrumentos econômicos e políticas de suporte para atendimento destas exigências legais, os quais foram apontados como alguns dos fatores limitantes para atendimento das exigências acima.
- f) Aproximadamente segundo as estimativas da principal cooperativa agrícola que atua na região, a Cooperativa dos Plantadores de Cana de Açúcar do Estado de São Paulo (COPLACANA), acima de 60% de toda a cana de açúcar produzida na região é fornecida por produtores de cana com tamanho médio de até 30 ha, os quais não têm alternativas como viabilizarem a restauração das RLs, especialmente do ponto de vista de redução de receita, e pelos altos custos destes projetos (acima de R\$ 2.500,00/ha).
- g) Para todos os entrevistados, há a expectativa que a revisão do atual Código Florestal, especialmente quanto à flexibilização das exigências legais quanto as RLs, poderia excluir pequenos produtores rurais desta obrigatoriedade, e permitir o uso econômico das RLs, com sistemas florestais ou agroflorestais associados, os quais poderiam contribuir com o atual portofolio de opções destes produtores.
- h) Como reflexo dos baixos preços pagos aos produtores de cana de açúcar nos últimos três anos, agricultores que contraíram dívidas para custeio ou aquisição de maquinas, estão com dificuldades para honrarem seus pagamentos e estão considerando outras opções para uso da terra, alem da cana de açúcar, inclusive estimulados pelos próprios agentes de extensão rural e cooperativas da região.
- i) Dentre as soluções apontadas para cumprimento das atuais exigências do Código Florestal pelos entrevistados, as mais relevantes para este trabalho foram: eliminação das exigências para as RLs para pequenos produtores rurais, possibilidade de implantação de florestas plantadas de produção nestas e suporte econômico para implantação destas áreas. O suporte técnico também foi citado como uma das demandas, mas não como condição essencial.

#### **3.3.1.4 Conclusões e recomendações sobre as oportunidades para otimização dos balanços de carbono nas análises de ciclo de vida do etanol**

A adequação ambiental das propriedades agrícolas independentemente do uso econômico das mesmas (cana de açúcar, pastagem, milho, reflorestamento, etc.) foi apontado como a maior preocupação para cumprimento das exigências legais em 100% dos entrevistados neste diagnóstico (total de 260 amostras). A maior preocupação é efetivamente com as atuais exigências do Código Florestal, e em particular quanto à necessidade de serem abandonadas 20% das áreas das propriedades agrícolas para as Reservas Legais (RLs), as quais atualmente não permitem o seu uso econômico. Considerando que atualmente são exigências da legislação ambiental brasileira a obrigatoriedade de manutenção das áreas de preservação permanentes (APPs) e das RLs, como elementos importantes dentro dos sistemas de produção agrícola, para quaisquer que sejam as culturas utilizadas, todos os estoques presentes de carbono nestes sistemas de produção agrícola devem ser computados em sua íntegra, ou seja, não apenas aqueles das culturas plantadas em si, mas todo o balanço de carbono na escala da paisagem, já que são exigências legais. Este princípio pode não se aplicar para obtenção de créditos de carbono dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), já para serem elegíveis, os projetos tem que cumprirem as exigências legais e demonstrarem adicionalidade. Porém a hipótese levantada neste trabalho é que a contabilidade de carbono dos sistemas de produção agrícola deve ser feitas na escala da paisagem onde estes sistemas estão inseridos. E, portanto deveriam ser incluídos nas análises de ciclo de vida dos produtos, tais como etanol, que estão sendo produzidos dentro destes sistemas de produção.

As exigências brasileiras para conservação de áreas mínimas com cobertura florestal na escala da paisagem (em particular as RLs) dentro de um determinado sistema de produção agrícola, não encontram semelhanças com outras legislações presentes, por exemplo, nos Estados Unidos e na Comunidade Européia. Nestes países, existem legislação para conservação de áreas sensíveis, tais como as cobertas dentro das APPs do Brasil, mas não mandatórias para as áreas florestais mínimas e em adição as APPs, ou seja, além das APPs, existe a obrigatoriedade de outras áreas florestais. Caso esta hipótese levantada neste trabalho for devidamente considerada nos balanços de carbono utilizados nos atuais estudos de ciclo de vida do etanol, há a possibilidade de aumento dos estoques de carbono no sistema de produção da cana entre 8 a 100 toneladas de carbono presentes na biomassa das APP e RLs (em função de biomassa presente, do estágio de sucessão e desenvolvimento destas áreas, etc) já que estas áreas fazem parte do sistema de manejo da paisagem como um todo. Desta forma, estes valores de carbono presentes na biomassa florestal devem ser considerados como estoques de carbono de todo o ciclo de vida de um produto obtido, e portanto devidamente monitorados, assim como são atualmente os diversos regimes de manejo da cana de açúcar, nos seus diversos sistemas de produção (por exemplo com ou sem queima, com ou sem cultivo mínimo, com diferentes sistemas de fertilização, etc).

Caso a partir de um mesmo sistema de produção, na escala da paisagem, seja obtido diversos produtos (cana, leite, carne, madeira, etc), os estoques de carbono da biomassa presente nas APPs e RLs devem ser divididos proporcionalmente às percentagens de ocupação do solo destinados por cada um destes produtos.

### **3.3.2 Diagnóstico dos Planos de Aplicação de Vinhaça na região de Piracicaba**

#### **3.3.2.1 Contexto sobre produção de vinhaça e importância para a sustentabilidade**

Concomitantemente à produção de etanol, a partir de diferentes matérias-primas (cana de açúcar, beterraba, milho), produz-se a vinhaça. A vinhaça da cana de açúcar é gerada na proporção média de 12 litros para cada litro de etanol.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar (570 milhões de toneladas em 2009) com a produção de 27 bilhões de litros/ano de etanol no ciclo 2009/2010, basicamente para fins carburantes, e, portanto, a quantidade de vinhaça produzida é da ordem de 320 bilhões de litros/ano. A perspectiva de aumento de produção de etanol aumenta a atenção ao destino a ser dado à vinhaça.

A vinhaça ou restilo, vinhoto, garapão, caxixi, etc., é um efluente originado no processo de fabricação de etanol, variando de 7 a 16 litros para cada litro de etanol produzido, a partir da cana de açúcar, dependendo das condições tecnológicas da destilaria. Possui características extremamente variáveis, mas, basicamente, é uma suspensão aquosa contendo sólidos orgânicos e minerais. É formada por 93,5% de água, 4,6% de matéria orgânica e 1,9% de substâncias minerais. As substâncias minerais são, principalmente, potássio (0,5%), nitrogênio (0,05%) e fósforo (0,01%).

É um líquido ácido, de odor característico, cuja coloração varia do amarelo âmbar ao pardo escuro, que, ao ser produzido, apresenta elevada temperatura.

Apesar de sua consistência líquida, a vinhaça é considerada um resíduo sólido, pela NBR 10.004 da ABNT (2004), pois não há solução convencional para seu tratamento, como despejo, nos padrões exigidos pela lei.

As características de efluente ácido, a elevada relação vinhaça gerada/etanol produzido e seu potencial efeito poluidor fazem da vinhaça um significativo problema para tratamento e disposição final adequados.

O poder poluente da vinhaça decorre de sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH e conseqüente corrosividade, e altos índices de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Sua elevada temperatura, na saída dos destiladores (85 a 90°C), tornam-na ainda mais impactante.

A vinhaça possui elementos que, dependendo de sua concentração, se destacam como contaminantes de águas superficiais e subterrâneas, como o fosfato e o nitrato, respectivamente.

Antes da década de 1960, uma grande parte da vinhaça era lançada diretamente nos cursos d'água. Esta prática foi abolida, primeiramente em São Paulo, com a interferência do antigo FESB (Fomento Estadual de Saneamento Básico), um dos órgãos que se incorporou à CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), em sua fundação. Depois disto, com mais rigor, após a promulgação da Lei 997/76 e seu regulamento, o Decreto 8468/76 que dispõe sobre a "Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente", no Estado de São Paulo.

No nível federal, o Ministério do Interior publicou a portaria MINTER nº 323, de 29.11.78, proibindo o lançamento, direto ou indireto, da vinhaça, em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de etanol.

A solução técnica encontrada, na época, foi a disposição deste resíduo nas áreas de sacrifício (sacrificava-se a área de plantio de cana para disposição e infiltração da vinhaça) com o risco de contaminação de águas subterrâneas. Este procedimento era regulamentado, na época, pelos órgãos ambientais. Ainda não há solução técnica e econômica para o tratamento convencional eficiente da vinhaça que permita seu lançamento nos cursos d'água.

As características da vinhaça tornam-na um efluente com elevado potencial poluidor, mas também uma opção como adubo em culturas de cana de açúcar. Já era usada, de forma empírica, na lavoura, na década de 1940, com registros de estudos e discussões de seu efeito no solo, a partir de 1952.

Na agroindústria sucroalcooleira, a aplicação da vinhaça no solo atende a três objetivos: destinação adequada aos resíduos, sob o ponto de vista do controle da poluição; melhoria das condições do solo para o plantio de cana e substituição de parte da adubação mineral, com vantagens econômicas. Sua aplicação no solo deve considerar: o tipo de solo; as características da vinhaça; a fertilidade do solo; os requerimentos nutricionais da cultura; a topografia do terreno; o método de aplicação da vinhaça, etc. Deve-se levar em conta também suas relações físicas e químicas com outras substâncias presentes no solo ou a ele adicionadas.

Segundo Matioli (1989, apud SANTOS, 2000), fertirrigação é o processo conjugado de irrigação e adubação, que se utiliza da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo na lavoura. Cita que este termo não é o mais correto, no caso sucroalcooleiro, embora amplamente usado, pois a aplicação de vinhaça visa, essencialmente, à substituição de adubação mineral, sendo que a quantidade de água aplicada constitui-se num suprimento mínimo para a cultura.

A aplicação da vinhaça fornece os nutrientes necessários às soqueiras de cana de açúcar (uma vez que, a cada corte, é retirada do solo grande quantidade de nutrientes) e melhora as condições físicas, químicas e bacteriológicas do solo, aumentando suas características de retenção de água e sais minerais. Apesar da sua natureza ácida, a vinhaça eleva o pH do solo a níveis ideais de alcalinidade.

Quando depositada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade, entretanto, as quantidades aplicadas não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo. O solo possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários destes íons, sobretudo do nitrato e do potássio.

### **3.3.2.2 Caracterização da vinhaça**

A composição da vinhaça depende de vários fatores, como:

Natureza e composição da matéria-prima (pode ser proveniente da fermentação do mosto de caldo de cana, mosto de melão ou misto);

- Natureza da composição dos vinhos;



- Sistema de fermentação;
- Raça da levedura utilizada; tratamento da levedura (nutrientes à base de nitrogênio e fósforo), aditivos utilizados na fermentação (ácidos, antibióticos, antiespumantes).
- Tipos de aparelhos utilizados na destilação;
- Qualidade da água usada;
- Componentes utilizados para desinfecção;
- Sistema de trabalho e influência dos operadores.

O sangramento de levedura, para fabricação de levedura seca, influencia as características da vinhaça, diminuindo a concentração de sólidos suspensos, representada pelas leveduras mortas, suspensas na vinhaça.

Outro aspecto que também deve ser considerado, na caracterização da vinhaça, é quanto ao tipo de etanol produzido: hidratado ou anidro. A quantidade de vapor é maior na produção de anidro.

As principais características físico-químicas da vinhaça, sob os aspectos de controle da poluição e de utilização como fertilizante, são, em média:

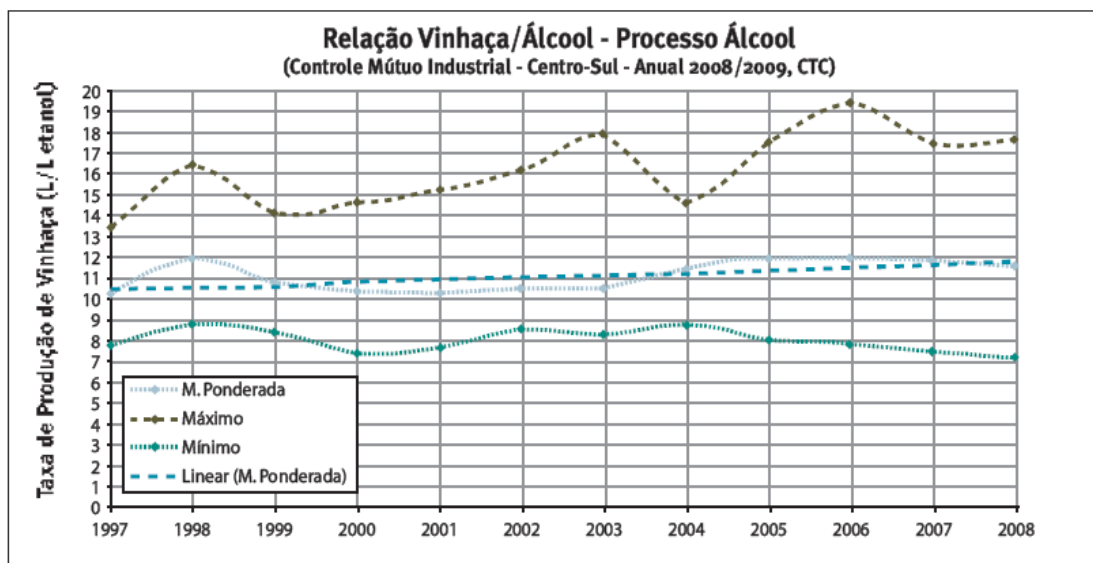
pH	4,3
Temperatura	90°C
Vazão de vinhaça	11,5 L/L etanol
DBO <sub>5</sub>	14.833 mg/L
DQO	23.801 mg/L
Relação DQO/DBO <sub>5</sub>	1,6
Sólidos Totais	32.788 mg/L
N: P: K	433:34:2.206 mg/L
Carga orgânica	274 g DQO/L etanol

**Fonte:** ELIA et. al (2009, p. 168)

O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e em menor quantidade por cátions como K, Ca e Mg, sendo sua riqueza nutricional ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que estes elementos decaem quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas. Apresenta DBO variando de 20.000 a 35.000 mgL<sup>-1</sup>. A vinhaça é desbalanceada em relação ao conteúdo de nutrientes (principalmente teor de K muito elevado). Uma tonelada de cana, se totalmente processada para gerar etanol, produz cerca de 1 a 1,6 Kg K<sub>2</sub>O.

A quantificação de produção de vinhaça pode ser obtida fazendo-se o balanço de massa na coluna "A" (de destilação). Portanto, a taxa de produção de vinhaça varia conforme o teor alcoólico do vinho e da recuperação ou não do vapor injetado na coluna "A", que pode ser aquecida com aquecedor indireto (reboiler). A taxa de produção de vinhaça pode variar de 7 a 16 litros de etanol produzido. Isto

representa uma taxa de variação de até 150% na quantidade gerada de vinhaça. 12 L vinhaça/L de etanol é uma boa média da situação da maioria das usinas.



**Figura 148 - Variações da média, máxima e mínima anuais da taxa de produção de vinhaça (L/L etanol) nas usinas da Região Canvieira do Centro-Sul (CTC, 2009, p. 167)**

A vinhaça gerada na coluna "A" de destilação do etanol possui alto potencial poluidor. Ao sair da Usina, a vinhaça está a cerca de 100°C. Há tratamentos prévios para diminuir a temperatura. Utilizam-se torres de resfriamento, de forma cilíndrica, sem enchimento interno e com insuflamento de ar, em contracorrente, para que a vinhaça não entre em contato com o ventilador. A redução da temperatura da vinhaça, para cerca de 60°C, possibilita a utilização de materiais e equipamentos com menor custo para a sua distribuição no campo: tanques e tubulações de fibra e geomembranas sintéticas de impermeabilização (PEAD, asfáltica, PVC e geotextil).

A concentração de sódio na vinhaça de cana de açúcar é menor que na de beterraba. Elevados valores deste íon são indesejáveis, pois podem ser nocivos ao solo e às plantas.

### 3.3.2.3 Objetivo

O principal objetivo deste componente é o analisar e diagnosticar, a partir dos Planos de Aplicação de Vinhaça protocolados na Agencia Ambiental Paulista para a região de Piracicaba, a situação de cumprimento das exigências ambientais legais dos principais produtores de etanol do município e a partir destas informações, sugerir um plano de ação e recomendações para otimização destes procedimentos e, portanto contribuindo para a certificação do etanol produzido nesta região.

### 3.3.2.4 Metodologia para o diagnóstico dos Planos de Aplicação de Vinhaça na região de abrangência da Agência Ambiental de Piracicaba e principais resultados obtidos

Neste trabalho foram coletados dados sobre a produção e gestão da vinhaça na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, que se localiza na bacia hidrográfica PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá), muito importante para o abastecimento de água dos municípios da região, como também da Grande São Paulo.

Foram identificadas as principais empresas produtoras de etanol (Tabela abaixo), bem como suas características de produção (vinhaça, cana de açúcar, etanol e açúcar).

Usina/Engenho	Vinhaça (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Cana (t)	Álcool (m <sup>3</sup> )	Açúcar
COSAN Costa Pinto	1.650.132	15.746,82	4.000.000	137.511	6.594.904 sacas
COSAN Santa Helena	567.144	7.824,41	1.900.000	47.262	3.664.252 sacas
Usina São José	210.000	4.187,12	1.100.000	17.000	93.000 t
Capuava					
José Granelli & Filhos	75.300				—

A CETESB, como órgão integrante do SEAQUA – Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – por meio da Lei 9.509 de 20.03.97 tem a atribuição da fiscalização e padronagem sobre degradação ambiental, no Estado de São Paulo.(23). Em 1986, a CETESB definiu alguns critérios relacionados ao uso da vinhaça, dentre os quais, o limite de aplicação deste produto no solo, que seria em torno de 400 Kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Entretanto, tais critérios não consideravam aspectos intrínsecos do local, como por exemplo, a formação geológica, a pedologia e a hidrogeologia.(25)

Já em 2005, a CETESB divulgou uma Norma Técnica P4.231, Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola, que altera e acrescenta diversos pontos nas legislações anteriores e considera a necessidade de organizar o armazenamento, o transporte e a aplicação, no solo, da vinhaça gerada no processamento da cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo, para evitar ocorrência de poluição, passando a considerar um conjunto amplo de diretrizes que devem ser respeitadas na aplicação da vinhaça em solos agrícolas (CETESB, 2006).

A distribuição racional da vinhaça está fundamentada no conhecimento da sua composição básica, nos estudos das condições do solo, na cultura a ser adubada, nas condições topográficas do terreno, em relação à fonte de vinhaça, e em considerações econômicas relativas aos métodos e sistemas de aplicação e espargimento da vinhaça no solo.

Para diminuir os riscos da aplicação da vinhaça nos canaviais, desenvolveu-se um sistema de fertirrigação, visando o aproveitamento racional deste resíduo. Em 2005, no Estado de São Paulo, a CETESB publicou a Norma Técnica P4.231, que, entre outros itens, procurou disciplinar as faixas com restrições de aplicações, impondo a obrigatoriedade de impermeabilização de tanques de armazenamento de

vinhaça e de canais principais de sua condução para a lavoura. Disciplinou também a dosagem de vinhaça, adotando uma fórmula desenvolvida por especialistas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP, no âmbito das discussões da Câmara Ambiental Sucroalcooleira da CETESB. Esta fórmula leva em conta o desenvolvimento radicular da cana (camada saturada com potássio) e as necessidades da planta em termos deste elemento, o nutriente com maior concentração na vinhaça:

$$Tx_{\text{aplicação}} = \frac{[(0,05 * CTC - K_{\text{solo}}) * 3744 + 185]}{K_{\text{vinhaça}}}$$

Em que:

$Tx_{\text{aplicação}}$  = taxa volumétrica de aplicação de vinhaça [m<sup>3</sup>/ha];

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm<sup>3</sup>, a pH 7,0, dada pela análise de fertilidade do solo;

$K_{\text{solo}}$  = concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm<sup>3</sup>, à profundidade de 0 a 80 cm, dada pela análise de fertilidade do solo;

3744 = valor constante para transformar os resultados da análise de fertilidade para quilograma de potássio em um volume de um hectare por 0,80 metros de profundidade;

185 = massa [kg] de K<sub>2</sub>O extraído pela cultura por ha, por corte;

$K_{\text{vinhaça}}$  = concentração de potássio na vinhaça [kg K<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>].

Fonte: ELIA et. al (2009, p. 217)

As dosagens de aplicação de vinhaça variam de acordo com as necessidades nutricionais da planta (em média, 185 Kg K<sub>2</sub>O/ha), a concentração do potássio disponível no solo e o seu grau de saturação em relação à CTC que se pretende manter no solo e a concentração de potássio na vinhaça. Considera-se também a profundidade e a fertilidade do solo e a extração média de potássio pela cultura. As dosagens resultam em taxas volumétricas de aplicação, de 100 a 300 m<sup>3</sup>/ha de vinhaça.

Portanto, a dosagem é baseada no teor de potássio contido na vinhaça e, este, apesar de ter sua concentração variável, de acordo com o tipo de produção (mosto de caldo, melaço ou misto), tem sua carga final similar para a destilaria autônoma ou anexa. O potássio é proveniente da cana. Faz parte do caldo, méis e melaços de forma mais concentrada, passando para a vinhaça. Parte do K fica no bagaço.

A Norma estabelece a caracterização do solo que receberá a aplicação de vinhaça, definindo a amostragem a ser feita.(23). A área a ser utilizada para a aplicação de vinhaça, no solo, deve atender às seguintes condições: não estar contida no domínio das APPs – Áreas de Preservação Permanente ou de Reserva Legal, definidas no Código Florestal (item 5.1.1); não estar contida no domínio de área de proteção de poços (item 5.1.4); a profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça, dever ser, no mínimo, de 1,5 m (item 5.1.8); estar afastada, no mínimo, 1.000 metros dos núcleos populacionais, compreendidos na área do perímetro urbano (item 5.1.6); estar afastada, no mínimo, 50 metros das APPs e com proteção por terraços de segurança (item 5.1.7); no caso das áreas com declividade superior a 15%, além das práticas conservacionistas, deverá ser efetuada a escarificação do solo (item 5.1.10); deverá ser imediatamente suspensa a prática de armazenamento e/ou disposição de vinhaça ou lodo em áreas de sacrifício (item 5.2); os tanques de armazenamento de vinhaça deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito (item 5.3); os canais mestres, ou primários, de uso permanente

para distribuição de vinhaça, durante o período da safra, deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igualou superior eficiência (item 5.5); deverão ser instalados, nas áreas dos tanques, uma quantidade mínima de quatro poços de monitoramento; deverão ser determinados parâmetros como: pH; dureza, sulfato, manganês, alumínio, ferro, nitrogênio nitrato, potássio, entre outros (item 5.4.1); anualmente, **deverá se realizado ou atualizado o Plano de Aplicação de Vinhaça (item 5.7).**

A Norma define que o Plano será constituído numa planta na escala 1:20.000, ou superior, contendo taxas indicativas de dosagens a serem aplicadas em m<sup>3</sup>/ha, diferenciadas em cores, com intervalos de aplicação a cada 150 m<sup>3</sup>. Na planta, deverá constar a localização dos tanques de armazenamento e dos canais mestres, ou primários, de uso permanente de distribuição; a localização dos cursos d'água; poços utilizados para abastecimento; dados de geologia e hidrogeologia locais; resultados analíticos dos solos; áreas de interesse ambiental e forma e dosagem de aplicação de vinhaça (item 6).

O item 7, da Norma, estabelece critérios para a caracterização do solo que receberá a vinhaça, definindo-se o número de amostras e a maneira e a profundidade de coleta.

A distância dos locais de armazenamento da vinhaça e das tubulações, que a conduzem em relação às águas superficiais, não é contemplada pela Norma P4.231. Entretanto, o item 2.1 da Norma relaciona algumas leis e portarias federais que devem ser consultadas, previamente, à aplicação da vinhaça no solo. Dentre elas, pode-se destacar a Portaria do Ministério do Interior nº 124, de 20 de agosto de 1980, que se refere às normas para localização e construção de instalações que armazenem substâncias que possam causar poluição hídrica, estabelecendo distância de duzentos metros das coleções hídricas ou cursos d'água.

Utilizando-se das informações presentes nestes Planos (de acordo com as Normas acima descritas), protocolados na Agencia Ambiental Paulista, e obrigatórios para cada unidade produtora de etanol, foram identificados os principais gargalos para adequação as exigências legais, e cumprimento das principais propostas de certificação em desenvolvimento no país e no exterior.

Quanto aos planos de aplicação de vinhaça, 100% das unidades produtoras de etanol da região protocolaram estes documentos na Agencia Ambiental Paulista no ano de 2009/2010.

Os dados sobre o conteúdo das informações protocoladas ainda estão sendo processados, e não fazem parte deste relatório final, mas indicam que há muito discrepância entre a qualidade dos documentos enviados entre as diversas unidades industriais e que não existe um monitoramento e validação destes planos protocolados a partir de visitas a campo.

Alem disso, segundo técnicos da Agencia Ambiental Paulista, estes planos de aplicação poderiam ser menos descritivos e mais sucintos, contemplando aqueles critérios de maior relevância ambiental, contidos na Norma Técnica descrita acima. Este aprofundamento sobre alternativas para melhoria do atual sistema de apresentação e sobre o conteúdo dos Planos de Aplicação de Vinhaça está sendo conduzido e será apresentado posteriormente ao CGEE, tão logo estas análises sejam concluídas.

### **3.3.2.5 Conclusões e recomendações sobre as oportunidades para otimização dos balanços de carbono nas análises de ciclo de vida do etanol**

Dentre as possíveis soluções atuais adotadas para a redução das cargas poluidoras e portando também para redução das emissões de gases estufa podem ser citados: concentração da vinhaça, tratamento químico e biológico ou produção de biomassa, e também a sua aplicação no solo. Há ainda diversos esforços para o aperfeiçoamento dos processos de fermentação e destilação para diminuir a relação do volume de vinhaça por litro de etanol produzido.

No Brasil, de acordo com a Dedini Industrias de Base há apenas uma usina concentrando a vinhaça (5% do total gerado) utilizando tecnologia de evaporação múltiplo efeito falling film, concentrando a vinhaça em 40%. A opção por esta tecnologia deverá comparar o custo de produção da vinhaça concentrada e o custo do transporte rodoviário para ser utilizada. Outro fator que dever ser considerado, na concentração de vinhaça, consiste na quantidade de condensado produzido que, apesar de límpido, apresenta-se ácido e com concentração de matéria orgânica similar à flegmaça, necessitando sistema de tratamento antes de sua utilização.

Mais que um sistema de tratamento da vinhaça, a biodigestão, via anaeróbia, é, antes de tudo, um processo de obtenção de energia extra, pela utilização do biogás gerado, rico em metano. Este tratamento tem potencial para remover 80 a 90 % da DBO5 da vinhaça. Salienta-se que, neste tipo de tratamento, somente a matéria orgânica é degradada, possuindo o efluente final biodigerido, praticamente, com as mesmas características nutricionais para a cana-de-açúcar (principalmente K) e os mesmos poluentes potenciais para as águas subterrâneas (sais). O uso em larga escala desta tecnologia, discutida extensivamente por Pinto, (1999), ainda não vem sendo adotado na regioa estudada, mas poderia ser uma alternativa importante para redução das emissões dos gases de efeito estufa dentro dos atuais sistemas de produção de etanol.

## Referências Bibliográficas

---

ABCSEM - Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas – Pesquisa de mercado de sementes de horaliças 2007 - 2007.

Abiquim (2008). Indústria química reduziu emissões de gás carbônico e consumo de água. Comunicação Abiquim, São Paulo, 18 de junho.

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2009). Anuário Estatístico da ABRAF ano base 2008. Brasília, 2009.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - Anuário Estatístico da ABRAF 2010 - Ano Base 2009 – disponível online <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>, 2010.

ABREU, C.A; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, 2001. p.125-150.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA/ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (2005a). Site disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 20 de agosto de 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA/ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (2005b). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos do Brasil – Caderno de Recursos Hídricos.

Agriannual 2008: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativo, 2008. 502p. São Paulo.

AJINOMOTO, 2010. [http://www.ajinomoto.com.br/2008/Index.php?area=saladeimprensa & sub=releases& item=34](http://www.ajinomoto.com.br/2008/Index.php?area=saladeimprensa&sub=releases&item=34)

AL-RIFFAI, P; DIMARANAN, B.; LABORDE, D. (2010). Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate. Final report. IFPRI and ATCLASS Consortium.

AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. Série Técnica IPEF, v.12, n.32, p.105-110, 1998.

Amaral, W.A.N., Marinho, J.P., Tarasantchi, R., Beber, A., Giuliani, E. (2008). Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil. In: Zuurbier, P., van de Vooren, J. (eds.) Sugarcane ethanol, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 113-138.

AMBIENTE BRASIL (2005). Site disponível: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>, acesso dia 30/08/2005.

ANA – Agência Nacional de Águas do Ministério do Meio Ambiente– Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética – Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 286p., 2009.

Análise sobre o uso da Norma Técnica P4.231 da CETESB como preventiva aos impactos ambientais causados pela vinhaça. Klein, Flávio Bordino; Fonseca-Filho, Homero e Almeida, Paulo

André ELIA et al. "Manual da Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética" CTC –2009.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Informação disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br).

ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. In: BASSANI, C. A. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Genesis, 2004, 328p.

ANP (2010). Boletim mensal de biodiesel – Abril de 2010. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Refino e Processamento de Gás Natural – SRP.

ANTUNES, L. E. C.; TREVISAN, R.; GONÇALVES, E. D.; FRANZON, R. C. - Produção extemporânea de amora-preta - Rev. Bras. Frutic. vol.28 no.3 Jaboticabal Dec. 2006.

ANUALPEC 2009. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. p. 143-167.

ARAUJO, V.S.; COELHO, F.C.; CUNHA, R.C.V.; LOMBARDI, C.T. - Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto - *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.7, n.3, p. 251-264, 2008.

AUERNHAMMER, H. Precision farming – the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 30, n. 1-3, p. 31-43, 2001.

BARBOSA, L.; MADI, L. e TOLEDO, M.A. – As tendências da alimentação - In: BRAZIL FOOT TRENDS 2020, FIESP/ITAL, São Paulo, S.P., 174p., 2010.

BARROS, R.G.L, 2006, Proconve – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, Apresentação Power Point, Secretaria de Qualidade Ambiental, SP.

BASANTA, M.V.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K; BACCHI, O.O.S.; OLIVIERA, J.C.M.; TRIVELIN, P.C.O.; TIMM, L.C.; TOMINAGA, T.T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, FAM.; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. *Geoderma*, v. 116, n.8, p. 235-248, 2003.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, v. 86, p. 237-245. doi: 10.1016/j.still.2005.02.023, 2006.

BAYER, C.; ZANATTA, J. & MIELNICZUK, J. 2006 (Fertbio). Contribuição da adubação nitrogenada e de leguminosas para o acúmulo de N e C no solo em SPD. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (Fertbio 2006). Anais. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Resumo expandido 4p.



Bergqvist, S. Green light for ethanol trucks. Disponível em: <http://www.scania.com/media/feature-stories/technology/green-light-for-ethanol-trucks.aspx>

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C. C.; BOURENNANE, H. MODELING VERTICAL DISTRIBUTION OF CARBON IN OXISOLS OF THE WESTERN BRAZILIAN AMAZON (RONDONIA). *Power*, v. 163, n. 12, p. 941-51, 1998.

BERTON, R.S. Recomendações de uso de biossólidos para algumas culturas. In: *Uso agrícola do biossólido*. Curso SABESP, 2000.

BEST. Bioethanol for Sustainable Transport. Disponível em: <http://www.best-europe.org/>. Acesso em: junho de 2009.

BIAIS, L.A.; BIBLIA, D.A.C.; SÃO JOSÉ, A.R.; FORNASIERI, J.L., MINAMI, K. – Efeito de misturas de turfa e bagaço de cana sobre a produção de mudas de maracujá e tomate - *Sci. Agric.*, Piracicaba, 52(2):239-243, mai/ago, 1995.

Biodieselbr (2010). [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com). Acessado em maio de 2010.

BNDES, Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, 2008.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, v. 5, n. 4, p. 359-387. doi: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa, 2004.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de águas residuais industriais. São Paulo, SP : CETESB, 1979.

BRAMLEY, R. G. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. *Crop and Pasture Science*, v. 60, n. 3, p. 197. doi: 10.1071/CP08304, 2009.

BRASIL. Medida Provisória n. 1.956/50, de 27 de maio de 2000. Altera os arts. 1o, 4o, 14o., 16o. e 44, e acresce dispositivos à Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10o. da Lei n. 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o imposto sobre a propriedade territorial rural – ITR e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 maio 2000.

BRAUNACK, M.; ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research*, v. 89, n. 1, p. 103-121. doi: 10.1016/j.still.2005.07.004, 2006.

BRAUNBECK, O. A.; ALBRECHT\_NETO, E. Logística do transporte de matéria-prima e resíduos da cana-de-açúcar. In: *BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: P&D para produtividade e sustentabilidade*. first ed. São Paulo: EDITORA BLUCHER, 2010.

Bustamante, M.M.C., Nobre, C.A., Smeraldi, R. (2009). Estimativa de emissões recentes de gases de efeito estufa pela pecuária no Brasil. Resumo e principais conclusões.

BUZETTI, S.; PEREZ, A. A. G.; ANDREOTTI, M. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado/RS, agosto – 2007. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM 4p., 2007.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AIR RESOURCES BOARD (CARB). Proposed regulation to implement the Low Carbon Fuel Standard, Staff report: initial statement of reasons. Volume I. Sacramento, March 2009.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, 2001. p.89-117.

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, G. J.; ET AL. ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR. R. Bras. Ci. Solo, v. 31, n. 5, p. 331-340, 2007.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

CANTARELLA, H., TRIVELIN, P. C. O., CONTIN, T. L. M., DIAS, F. L. F., ROSSETTO, R., MARCELINO, R., COIMBRA, R. B., AND QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. Sci. Agric. 65:397–401, 2008b

CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; MARCELINO, R.; Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. In: 16th Nitrogen Workshop, Turin (Italy), June, 28th - July, 1st . 2009. p.129-130, 2009.

CANTARELLA, H.; MATTOS JÚNIOR; D.; QUAGGIO, J.A. & RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. Nut. Cyc. Agroecosyst., 67:215-223, 2003

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M.G.C.; BIDOIA, M.AP.; VASCONCELOS, A.C.M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: 8º Congresso Nacional da STAB. Recife. P. 218-224, 2002.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. p. 355-412. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S; VITTI, G.C. (Ed.) Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute. 2007.

Capaz, R.S. (2009). Estudo do desempenho energético da produção de biocombustíveis: aspectos metodológicos e estudo de caso. Itajubá, Universidade Federal de Itajubá. 121p. Dissertação (Mestrado).

CARD. Technical Report: An Analysis of EPA Biofuel Scenarios with the CARD International Models, November 2008 (disponível em <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OAR-2005-0161>).

Carvalho, J.L.N. (2009). Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 141 p. Tese (Doutorado).

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. RBCJ 34: 277-289. 2010.

CASLER, S. D. (2004). Input-Output Analysis. In "Encyclopedia of Energy" (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459-474. Elsevier, San Diego, CA.

CATI -Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - Distribuição espacial das benfeitorias 2007/2008 - CIAGRO, São Paulo, SP, 2008.

CCAP. Biodiesel in Brazil: perspectives and GHG emissions. Final Report, Center for Clean Air Policy, Washington, 2008.

Cederberg, C., Meyer, D., Flysjö, A. (2009). Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. SIK Report No 792. June 2009.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). Controle mútuo industrial - centro-sul - anual - 2008/2009: relatório anual do banco de dados. Piracicaba, SP, 2009. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br>>. Acesso em: 02/01/2009.

CEPEA / ESALQ - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Indicador Boi, Mercado Físico. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/boi/?merc=2>. Acesso em: 9 jul 2010a.

CEPEA / ESALQ - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Indicador Bezerro, Média São Paulo. Disponível em [http://www.cepea.esalq.usp.br/bezerro/?id\\_page=382](http://www.cepea.esalq.usp.br/bezerro/?id_page=382). Acesso em: 9 jul 2010b.

CEPEA / ESALQ - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Indicador Soja CEPEA / ESALQ - Paraná. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/soja/>. Acesso em: 13 jul 2010c.

CEPEA / ESALQ - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Indicador de Preços do MILHO ESALQ/BM&FBovespa. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br/milho/>. Acesso em: 13 jul 2010d.

CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; GALDOS, M. V.; BERNOUX, M.; CERRI, C. ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO E FLUXO DE GASES DO EFEITO ESTUFA NO AGROSSISTEMA CANA-DE-AÇÚCAR. In: L. A. Cortez; BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: P&D para produtividade e sustentabilidade. 1 ed., p.1-23. São Paulo: EDITORA BLUCHER, 2010.

CERRI, C. C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. *Sci. Agric* 66: 831-843, 2009.

CERRI, C.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; ET AL. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agrícola.*, v. 64, p. 83-99, 2007.

Cerri, C.C., Maia, S.M.F., Galdos, M.V., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Bernoux, M. (2009). Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Sci. Agric.*, v.66, n.6, p.831-843, November/December 2009.

Cetesb, 2009, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008, 340 p.

CETESB. Utilização de restilo como fertilizante em solos cultivados com cana de açúcar: relatório final São Paulo (BR) : CETESB, 1982. 262p.

CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil - Brasília, DF :Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009b, p.91-92.

CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Estudo de Sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar. Relatório Técnico Final. 2009c.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 1. Campinas: Nipe/Unicamp e Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2005.

CHEMINFO, S&T, McLean, H., Fugacity Technology Sensitivity Analysis of Bioethanol LCA Models to Determine Assumptions with the Greatest Influence on Outputs. 2008a. 168 p.

CHIARINELLI, M.D., Logística de Transporte da cana-de-açúcar: desafios para um processo just in time, Opiniões sobre o setor sucroenergético, Piracicaba, abril-junho de 2008

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*, 102:267-322, 2009.

CNM – Confederação Nacional de Municípios. Mapa de municípios de Goiás. Disponível em

[http://www.cnm.org.br/dado\\_geral/ufmain.asp?Command=ZOOMIN&click.x=199&click.y=297&iIdUF=100152&iIdBuscaMun=&Left=-54.7446487719366&Bottom=-19.5346650037341&Right=-44.4137376225805&Top=-12.3604211500147](http://www.cnm.org.br/dado_geral/ufmain.asp?Command=ZOOMIN&click.x=199&click.y=297&iIdUF=100152&iIdBuscaMun=&Left=-54.7446487719366&Bottom=-19.5346650037341&Right=-44.4137376225805&Top=-12.3604211500147). Acesso em: 9 jul 2010.

COGO, C. Cana, açúcar e álcool: tendência de alta de preços do açúcar – ESPECIAL – Perspectivas para 2010. Disponível em: <[http://www//deere.com.br/pt\\_BR/ag/veja\\_mais/info\\_mercado/sugar\\_cane.html](http://www//deere.com.br/pt_BR/ag/veja_mais/info_mercado/sugar_cane.html)>. Acesso em: 03/04/2010

CONAB. Cana-de-açúcar, Safra 2009/2010 Terceiro Levantamento. . Brasília, 2010.

COSTA, A.C.P.B.; MACEDO, F.S. e HONCZAN, G. – Fatores que influenciam o consumo de alimentos – In: BRAZIL FOOT TRENDS 2020, FIESP/ITAL, São Paulo, S.P., 174p., 2010.

COSTA, R.E., LORA, E.E.S., ANGARITA, E.Y., TORRES, E.A., Balanço Energético Preliminar da Produção do Biodiesel de Óleo de Palma para as condições do Brasil e da Colômbia. In: 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, AGRENER, UNICAMP, Campinas. 2006.

Cunha, J.T. (2008). Inventário do ciclo de vida do Biodiesel de sebo bovino e de soja e de óleo diesel de petróleo para o uso em ônibus urbanos na cidade de São Paulo/SP. São Paulo, Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). 132p. Dissertação (Mestrado).

CUNHA, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Dissertação de mestrado, Unicamp.

CUNHA, M. P., PEREIRA, J. T.V. In: Estimativa da energia incorporada na demanda final da economia brasileira em 2005. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE), 2008. Rio de Janeiro – RJ.

DA SILVA, A. – Comunicação pessoal – Cunha, SP, Brasil, 2010.

de GOUVELLO, C. (2010). Brazil Low Carbon Country Case Study. World Bank, Washington, 2010 (disponível em: [http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil\\_LowcarbonStudy.pdf](http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf)).

DELCO, J.P.B e TRUPEL,R. – Tomate – Gestão Sustentável – Avaliação do risco da tomaticultura e custo de produção do tomate em Mogi-Guaçu – Rev. Hortifruti Brasil, p. 5-21, Ano 9, nº 91, Junho, 2010.

DEON, M. D. Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto. Tese apresentada para título de doutor. ESALQ. Piracicaba, 2010. 88pág.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKER, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARD, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; KESSEL, C. van. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 74:139–152, 2010.

EBAMM (2005). The ERG biofuels analysis meta-model, Release 1.0. December 26, 2005.

ELIA NETO, A.; ZOTELLI, L.C. Caracterização das águas residuárias para reúso agrícola. Piracicaba, SP : Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008. 31p.

EL-MEMARI NETO, A. C. Gestão de sistemas de produção de bovinos de corte: índices zootécnicos e econômicos como critérios para tomada de decisão. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE.,5,2006, Anais... Viçosa:UFV, 2006, p.31-46.

EMBRAPA SOLOS <http://www.e-campo.com.br/> Conteudo/ Noticias/Vis Noticias.aspx? ch\_top=5274&Painel=2&

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. In: C. V. Manzatto; E. D. Pereira; J. F. Bacca; M. J. Zaroni; Sandro Eduardo Marschhausen Pereira; Embrapa Solos. 1 edição ed., p.58. Rio de Janeiro: Embrapa, 2009.

ENGEL, V. L. ; PARROTTA, J. A. . An evaluation of direct seeding for restoration of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. Forest Ecology and Management, v. 152, p. 169-181, 2001.

ENGEL, V. L. ; PARROTTA, J. A. . Sistemas alternativos de plantio para a restauração de ecossistemas florestais da Mata Atlântica em Botucatu, SP. Agroecologia Hoje, Botucatu, v. 1, n. 5, p. 10-11, 2000.

ENSINAS, A.V. - Integração térmica e otimização termoeconômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar – Tese de doutorado, Universidade de Campinas, 2008.

EPA, 1999, US Environmental Protection Agency, The history of reducing tailpipe emissions, EPA420-F-99-017.

EPA, 2009, US Environmental Protection Agency, Final Rulemaking to Establish Light Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Fuel Economy Standards, Regulatory Impact Analysis.

EPA, 2010, US Environmental Protection Agency, Light Duty Tier 2 and Gasoline Sulfur Rulemaking.

EPE - 2009 – Empresa de Pesquisa Energética, “Balanço Energético Nacional (BEN) 2009 – ano base 2008”. ([www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br))

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030). Ministério das Minas e Energia. Brasília; 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030). Ministério das Minas e Energia. Brasília; 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030). Ministério das Minas e Energia. Brasília; 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética/ MME – Ministério das Minas e Energia. 2009. Balanço Energético Nacional 2009. Rio de Janeiro.

EPE (2008). Perspectivas para o etanol no Brasil. Cadernos de Energia EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia.

FAO – Consumption of fruits e legumes – citado em [http://www.museum.agropolis.fr/pages/expos/aliments/fruits\\_legumes/prodconso.htm](http://www.museum.agropolis.fr/pages/expos/aliments/fruits_legumes/prodconso.htm), 2000.

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Manual técnico forraje verde hidropónico. Santiago, Chile, V.1, 73p., 2001.

FAO (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006.

FARGIONE, J., HILL, J., TILMAN D., PLASKY, S., HAWTHORNE, P. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Available at <[www.sciencexpress.org / 7 / Page 1 / 10.1126/science.1152747](http://www.sciencexpress.org / 7 / Page 1 / 10.1126/science.1152747)>. Access in February 2008.

FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MANZONI, C.S.; PENATTI, C.P.; TRIVELIN, P.C.O. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos (Compact disc). In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003.

FBDS (2009). Práticas de gestão para redução da emissão de gases do efeito estufa e remoção de carbono na agricultura, pecuária e engenharia florestal brasileira. Coalizão de Empresas pelo Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.

FEIJÓ, et al., "Contabilidade Social: O Novo Sistema de Contas Nacionais do Brasil". Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.4, p.575-583, 2003

FERREIRA, E.S.; MONTEIRO, A.O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, Piracicaba, n. 37, p.3-7, jan. 1987.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; HUETE, A. R.; FERREIRA, M. E. (2007) An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 47-62, 2007.

FIESP – Agronegócio Brasileiro – Edição 2008 – MAPA, Brasília, 119p. 2008.

FIRME, Lilian Pittol. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana de açúcar – Tese de Doutorado -- ESALQ/USP, Piracicaba, 2007.

FRITSCHÉ, U. R.; HENNENBERG, K.; HÜNECKE, K. (2010). The "iLUC Factor" as a Means to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land Use Change. *Öko-Institut working paper*.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, v. 153, p. 347-352. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.08.025, 2009.

GALLEGOS, H.M.L. – Manual para cultivo de tomate en invernadero – México, 263p., 2006.

GALLEGOS, H.M.L. e ANCHONDO, C.O. – Growing hydroponic greenhouse tomatoes in Nuevo Casa Grande – a challenge in Chihuahua´s desert - In: GREENSYS 2009, Québec, QC, Canada. 14 à 19 Junho de 2009, 2009.

Garcez, C.A.G., Vianna, J.N.S. (2009). Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. *Energy* 34, 645-654.

GASI, Tania Mara Tavares; SANTOS, J.A. de O. Aspectos do lançamento de vinhaça sobre o solo São Paulo (BR) : USP/FSP, 1984. 47p.

GAVA, G.J.C; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.11, p. 1347-1354, 2001b.

GAZZONI, D.L., FELICI, P.H.N., CORONATO, R.M.S., Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. In: 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, Vol.1 (12-17), Brasília, 2006.

GHIBERTO, P.J. Lixiviação de nutrientes em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ, Tese de Doutorado. 2010. 158p.

GIACOMELLI, G.; CASTILLA; N.; VAN HENTEN, E. - Innovation in Greenhouse Engineering - Proc. IS In : Greensys 2007, Ed. S. De Pascale et al., Acta Hort. 801, ISHS, 2008.

GILBERT, N. The disappearing nutrient. *Nature*, 461:716-718, 2009.

GLADON, R.J. - Waste Products from Ethanol Plants as Assets for Greenhouses - In: Potential to Operate Greenhouses and Aquaculture in Conjunction with Iowa's Ethanol Plants Report. Publicado por Leopoldo Center, Iowa State University, 37 pg., 2008.

GLASSNER, D. A.; HETTENHAUS, J. R.; SCHECHINGER, T. M. CORN STOVER COLLECTION PROJECT. *BioEnergy '98: Expanding BioEnergy Partnerships*, p. 1100-1110, 1998.

Gouvello, C. 2010. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Banco Mundial. Washington; 2010.

Gouvello, C. 2010. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Banco Mundial. Washington; 2010.

Gouvello, C. 2010. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Banco Mundial. Washington; 2010.

GRAHAM, M.; HAYNES, R.J.; MEYER, J. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 34, n. 1, p. 93-102. doi: 10.1016/S0038-0717(01)00160-2, 2002.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertiliser applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association*, v.74, p.109-113, 2000

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Green cane harvesting promotes accumulation of soil organic matter and an improvement in soil health. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association*, v.73, p.53-57, 1999.



GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; van ANTWERPEN, R. Size and activity of the soil microbial biomass in the row and inter-row of a sugarcane field under burning and green cane harvestin. Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association, v.76, p.186-195, 2002

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; ZELLES, L.; MEYER, J.H. Long-term effects of green cane harvesting versus burning on the size and diversity of the soil microbial community. Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association, v.75, p.228-234, 2001.

GRAHAM, R.; NESLON, R.; SHEERAN, J.; PERLACK, R.; WRIGHT, L. Current and Potential U.S. Corn Stover Supplies. Agronomy Journal, v. 99, n. 1, p. 1-11. doi: 10.2134/agronj2005.0222, 2007.

GRASSI F.H.; SANTOS, C.H. - Importância da relação entre os fatores hídricos e fisiológicos no desenvolvimento de plantas cultivadas em substratos - In: Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa: UFV, p.78-91, 2004.

GUAZZELLI, M.A.N.; PAES L.A.D. Utilização da vinhaça: alternativas e viabilidade técnico-econômica: RT 834. Piracicaba : Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 1998, 19p.

GUILHOTO, J. J. M., E U. A. SESSO (2005). "Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais". Economia Aplicada 9 (2) 277–299.

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, Alemanha, 2005. Proceedings. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 9p. CDROM

HARRIS, N., GRIMLAND. S., BROWN, S. (2009). Land Use Change and Emission Factors: Updates since the RFS Proposed Rule. Report to EPA. Winrock International.

HASSUDA, S. Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru. 1989. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1989.

HAYSOM, M.B.; CHAPMAN, L.S.; VALLIS, I. Recovery of nitrogen from <sup>15</sup>N urea applied to a green cane trash blanket at Mackay. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência 1990. p. 79-84, 1990.

HENRIQUES, E.R. - Manual de produção-forragem hidropônica de milho. - Uberaba: FAZU, 15p , 2000.

HEUVELINK, E. – Tomatoes – crop production science in horticulture – 13 – CAB Publishing, 339p., 2005.

Horta Nogueira, L.A. (2009). Does biodiesel make sense? In: 22<sup>nd</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2009). September, Foz do Iguaçu, Brazil.

Hybrid Center, disponível em <http://www.hybridcenter.org/hybrid>

IBGE - 2007 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Contas Nacionais”. (www.ibge.gov.br – acesso em 14/06/2010)

IBGE – Censo agropecuário 2006 – Rio de Janeiro, RJ, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal, vários anos, acesso pelo sistema Sidra, <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

IDEA. “X Seminário de Mecanização e Produção de Cana-de-Açúcar”. Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial. Ribeirão Preto, 2008.

IEA – International Energy Agency. Energy Technology and Perspectives 2008 – Scenarios & Strategies to 2050. Paris; 2008.

IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2009. Paris; 2009.

INOVAÇÃO UNICAMP. Disponível em <http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-lisina.shtml>, acesso em 12;07;2010..

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (National Institute for Space Research). 2009. PRODES Project. Data available at [http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2008.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2008.htm)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 2007.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

JERRY L. HATFIELD. Precision Agriculture and Environmental Quality. . Retrieved from <http://www.arborday.org/programs/papers/PrecisionAg.html>, 2000.

Joseph Jr H. 2005. Long term experience from dedicated & flex fuel ethanol vehicles in Brazil. In: Clean vehicles and fuels symposium, Stockholm.

Joseph Jr, H., 2009, Proconve – As fases passadas e futuras, Seminário Sobre Emissões de Veículos Diesel, São Paulo, SP, 27 de outubro de 2009.

JUNQUEIRA, A.H. e PEETZ, M.S. - Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente - Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v. 14, n.1, p. 37 - 52, 2008.

KÄMPF, A. - Evolução e perspectivas do crescimento do uso de substratos no Brasil. - In: Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa: UFV, p.03-10, 2004.

KISS, S., AND SIMIHAIAN, M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 2002. 417 p.

KLAPWIJK, P. - Potential of closed greenhouse in North America - In: GREENSYS 2009, Québec, QC, Canadá, 14 à 19 Junho, 2009.

LA\_SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 91, n. 1-2, p. 244-248. doi: 10.1016/j.still.2005.11.012, 2006.

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the royal society* 363:815-830, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestrations impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627, 2004.

LANGHANS, R.W. - A manual of greenhouse rose production - Cornell University, Ithaca, N.Y., 371p., 1987.

LAPOLA, D; SCHALDACH, R; ALCAMO, J.; BONDEAU, A.; KOCH, J.; KOELKING, C.; PRIESS, J. A. (2010). Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *PNAS*.

Leal, M.R.L.V. e Macedo, I.C., 2004, "Evolução tecnológica de sistema de geração de energia nas usinas de açúcar e álcool", *Biomassa e Bioenergia*, V. 1. N. 2, p. 245-253.

LEAL, R.M.P. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um latossolo cultivado com cana de açúcar. *Dissertação de Mestrado ESALQ/USP, Piracicaba, 2007, 109p.*

Leontief, Wasily, "Input - Output Economics", Second Edition, Oxford University Press, Oxford, 1986,

LI, Y.; TULLBERG, J.; FREEBAIRN, D. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. *Soil and Tillage Research*, v. 97, n. 2, p. 282-292. doi: 10.1016/j.still.2005.10.001, 2007.

LOPES, A.S.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R. Potencial dos recursos naturais para atender a atual e futura demanda da indústria nacional de fertilizantes e corretivos. 22p. In: *Fertbio 2009a*. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD Rom.

LOPES, E.M., Análise energética e da viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir de sebo bovino. *MSc dissertation, Programa de Mestrado em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.*

LUDOVICE, M. T. F. Estudo do Efeito da Vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre lençol freático. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil - Universidade de Campinas. Campinas, 110 f. 1997*

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.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E.; SILVA, J. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 7, p. 582-595. doi: 10.1016/j.biombioe.2007.12.006, 2008.

MACEDO, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. *Biomass and Bioenergy*. 14:77-81, 1998.

MACEDO, I.C., LEAL, M.R.L.V., DA SILVA, J.E.A.R., Balanço das emissões de gases de efeito estufa na produção e uso de etanol no Brasil, Secretaria de Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 2004

Macedo, I.C., Seabra, J.E.A. (2008). Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol. In: Zuurbier P, van de Vooren J. (editors). *Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 95-111.

Macedo, IC, Seabra, JEA, Silva, JEAR. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil. *Biomass and Bioenergy* (2008), doi: 10.1016/j.biombioe.2007.12.006.

MADAIL, J.C.M.; REICHERT, L.J.; MIGLIORINI, L.C. – Sistema de Produção de Morango – Sistemas de Produção, 5 – Embrapa, versão eletrônica, Nov., 2005.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAPA (2009). Anuário Estatístico da Agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Brasília, DF.

MAPA, Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil (Safrá 2008-2009), Companhia Nacional de Abastecimento, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2010

MARCELINO, R. Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho. Campinas, Instituto Agrônômico. 2009. 69p. (Dissertação de Mestrado).

MARCO ANTONIO LOPES GARCIA. Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. , 2008.

MARGARIDO, Regina Célia Cardoso ; LEME, Paulo Roberto ; SILVA, Saulo da Luz e ; PEREIRA, A. S. C. Avaliação do desempenho e características de carcaça de bovinos confinados na Usina Vale do Rosário em 2001 – Associação Brasileira de Criadores de Caracu. 2001. Disponível em <http://www.flavito.com/artigo4.htm>. Acesso em: 9 jul 2010.

MARLAND, B. G.; WEST, T. O.; SCHLAMADINGER, B. Managing soil organic carbon in agriculture : the net effect on greenhouse gas emissions. *Tellus, B*, v. 55, n. 2, p. 613-621, 2003.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JUNIOR, L.C. Tecnologia do açúcar. Produção e industrialização da cana de açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 166p.

MARTINEZ, H.E.P. – Manual prático de hidroponia – Ed. Aprenda Fácil, Viçosa, MG, 271p., 2005.

MARTINS, S.V. Recuperação de Matas Ciliares. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 143p.

MATHIAS, M.C. – Budding Ceará region is craving for cardo space - In: Flower TECH. Publicado por Reed Business Information bv., International Agri-& Horticulture. Vol. 9, No. 3, pg 28-30, 2006.

MATTIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N, ROSSETTO, R. Adição de resíduos da fermentação glutâmica e seus efeitos na acidificação e lixiviação de N em três tipos de solos. In: In: Congresso Nacional da STAB, 1996. Maceió. Pág. 461-468.

McMichael, A.J., Powles, J.W., Butler, C.D., Uauy, R. (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Energy and Health* 5, *Lancet* 2007; 370: 1253-63.

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. 2010. Fatores de Emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. Informação disponível em [www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html)

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Valores preliminares divulgados em 30/11/2009.

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. Primeira Comunicação Nacional do Brasil. Disponível em [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br); 2004.

MCT (2004). Influência do manejo da produção animal sobre a emissão de metano em bovinos de corte. Ministério de Ciência e Tecnologia. Plano Plurianual de Governo (PPA), Programa Mudanças Climáticas.

MCT (2009). Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (informações gerais e valores preliminares). Ministério de Ciência e Tecnologia, 24 de novembro de 2009.

MCT, Programa Nacional de Mudanças Climáticas, Fatores de Emissão de CO2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, disponível em <http://www.mct.gov.br/>, consultado em julho de 2010

MDIC (2006). O future da indústria: biodiesel. Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – 14. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio; Instituto Euvaldo Lodi – IEL/Núcleo Central. Brasília, DF.

MEIER, E,A,. THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. A conceptual analysis of nitrogen trash blankets in the wet tropics. *Sugar Cane International*, Maio-Junho, p.8-11, 2002.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do bio sólido e as propriedades do solo. In: *Bio sólidos na Agricultura*. Ed.. SABESP. 2001. cp. 11. pág. 289-359.

MICHELAZZO, M. B. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SEIS SISTEMAS DE RECOLHIMENTO DO PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*). , 2005.

MILLER, R. E., e BLAIR, P. D. (1985). "Input-output analysis: Foundations and Extensions". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anuário estatístico da agroenergia / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT. New Zealand's Fifth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Wellington, Nova Zelândia: Ministry for the Environment. 2009, 244p.

MME – Ministry of Mines and Energy. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. number 19, July, 2009.

MME (2010). Boletim mensal dos combustíveis renováveis. Edição nº 27 – Mar/2010. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Departamento de Combustíveis Renováveis.

Monteiro, 1998,

Moreira, J.R., Velazquez, S.M.S.G., Apolinario, S.M., Meli, E. H., Elmadjian, P.H. Projeto Best – Bioetanol para Transporte Sustentável. [In: 7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural – Agrener GD 2008.](#)

MORGADO, I.F.; CARNEIRO, J.G.A.; LELES, P.S.S.; BARROSO, D.G. – Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar - Rev. Agric., vol.57, n.4, Piracicaba, Oct./Dec., 2000.

MORTON, D.C., DEFRIES, R.S., SHIMBUKURO, Y.E., ANDERSON, L.O., ARAI, E., DEL BON ESPIRITO-SANTO, F., FREITAS, R. & MORISETTE, J. (2006). Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. PNAS: Sep. 26, vol. 103 , no. 39, p. 14637–14641, 2006.

Mourad, A.L. (2008). Avaliação da produção de biodiesel a partir da soja em sua cadeia produtiva. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 125p. Tese (Doutorado).

NASSAR, A.M.; RUDORFF, B.F.T.; ANTONIAZZI, L.B.; AGUIAR, D.A. de; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. (2008). Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: Zuurbier and Vooren (coord.), Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008.

NEDERHOFF, E – Calculating the value of CO<sub>2</sub> enrichment - In: Flower TECH. Publicado por Reed Business Information bv., International Agri- & Horticulture. Vol. 3, No. 7, pg 22-25, 2000.

Nigro, F.E.B., 2009, Etanol como combustível veicular: Importância do desenvolvimento continuado da tecnologia, Segundo Workshop – Tribologia nos Motores Flex, São Paulo, SP, 25 setembro de 2009.

Nigro, FEB. 2009. Etanol como Combustível Veicular. Perspectivas tecnológicas e propostas de políticas públicas.

Nylind, N.O., Aakko-Saksa, P. e Sipilä, k., 2008, Status and Outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles, VTT Research Notes 2426.

OLIVEIRA, O.C. de; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Burning cane: the long-term effects. *International Sugar Journal*, v.94, n.1147E, p.272-275, 1994.

Olivério, J.L., Barreira, S.T., Rangel, S.C.P. (2006). Integrated biodiesel production in Barralcool sugar and alcohol mill. *International Sugar Journal*, vol. 108, no. 1287.

Ondrey, G. (2006). The path to biorefineries. *Chemical Engineering*, v.113, Iss. 4; pp. 27, 3p. New York: Apr 2006.

ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEXE, C.A.; GLORIA, A.N. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos* v.12, n. 4, p-7-11, 1994.

PAES, L.; OLIVEIRA, M. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In: S. J. Hassuani; M. R. Leal; I. C. Macedo; *Scientia Agrícola*. first ed., p.19-23. Piracicaba: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2005.

PASDA, G.; HAHNDEL, R.; ZERULLA, W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor Dmpp (3,4 – Dimethylpyrazole Phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*. 34(2):85-97, 2001.

PINTO, C. P. Tecnologia de digestão anaeróbica de vinhaça e desenvolvimento sustentável. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 1999.

PINTO, C.P.; CORTEZ, L.A.B. - Tecnologia da Digestão Anaeróbia da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável - Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos. Campinas, S.P., 1999.

PORTALDOMUNDODASFLORES – Informações do mercado ornamental disponível online em <http://www.portalmundodasflores.com.br>, 2010.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. Ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico 100)

RAZAFIMBELO, T.; BARTHE, B.; LARRÉ-LARROUY, M.; ET AL. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 115, p. 285-289. doi: 10.1016/j.agee.2005.12.014, 2006.

REGINA, K.; ALAKUKKU, L. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil & Tillage Research*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.still.2010.05.009, 2010.

REIS\_JUNIOR, F. B.; MENDES, I. D. A fixação biológica de nitrogênio e o meio-ambiente. . doi: 10.1590/S0034-73292005000100009, 2008.

RICKLEFS, R.E. 1990. *Ecology*. 3rd. ed. New York: W.H. Freeman and Company.

ROBERTS, R., ENGLISH, B. and MAHAJANASHETTI, S. Environmental and economic effects of spatial variability and weather. In: *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*. edited by S. Blackmore and G. Grenier (AGRO, Montpellier, France). pp. 545-550, 2001

ROBERTS, T.L. Right product, right rate, right time and right place... the foundation of best management practices for fertilizer. p. 29-32. In: *International Fertilizer Industry Association (IFA), Fertilizer best management practices: general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations*. Paris: IFA. 2007, 259 p.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Trash management – consequences for soil carbon and nitrogen *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, v.22, p.225-229, 2000.

RODRIGUES, R. R. ; LIMA, R.A.F. ; GANDOLFI, S. ; NAVE, A. G. . On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest.. *Biological Conservation*, v. 142, p. 1242-1255, 2009.

RODRIGUES, R. R. ; MARTINS, S. V. ; NAPPO, M. E. . Recuperação de Fragmentos Degradados. *Ação Ambiental, Viçosa, MG*, v. 2, n. 10, p. 21-23, 2000.

ROSSETO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: *Paranhos, S.B. (Ed). Cana de açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504. In: *Uso de Vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático da Silva, M. A., Griebeler, N.P., Borges, C. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v. 11, n. 1 p. 108-114, 2007*

ROSSETTO, R.; MATTIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N. Utilização de resíduos da fermentação glutâmica na fertilização de soqueiras de cana-de-açúcar e seus efeitos na acidez de solos. In: *Congresso Nacional da STAB, 1996. Maceió. Pág. 511-516.*

RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.935-944, 2003

Saldiva, P.H.N., Andrade , M.F., Miraglia, S.G. e André, P.A, 2009, A troca de petróleo por etanol melhoraria a saúde nas metrópoles, *Etanol e Bioeletricidade: A cana de açúcar no futuro da matriz energética, ÚNICA, Coordenação e Organização* Eduardo Leão de Souza e Isaias de Carvalho Macedo, p. 24-27.



SANDIA. Sandia Nacional Laboratorios para New México y el Caribe. - Producción de forraje verde hidropónico - Disponível online em: <http://www.sandia.gov/water/USMBpress/gallegosagricultura.pdf>, 2003.

SANTOS, M. B. Proposta metodológica para o planejamento do uso agrícola da vinhaça, considerando os seus aspectos ambientais, por meio de sistema de informações geográficas. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos , 237 f. 2000

SANTOS, O.S. - Produção de forragem hidropônica de cevada e milho e seu uso na alimentação de cordeiros - Santa Maria: UFSM/CCR, 8p. (Informe Técnico 04/2004), 2004.

Scandiffio, M.I.G., Infra-Estrutura e Logística de Transporte de Cana e Etanol, NIPE-UNICAMP, Position Paper apresentado no Workshop Roadmaps e Diretrizes de Políticas Públicas, FEAGRI/UNICAMP, 2009, disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/cana/>, consultado em julho de 2010

SCANIA. "New highly efficient diesel-ethanol engine - ready to cut fossil CO<sub>2</sub> emissions by 90%". Scania Press Info, P07503EN, maio 2007.

SCHIAVO, J.A.; MARTINS, M.A. - Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) inoculadas com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* em substrato agro-industrial - Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.24, n.2, p.519-523, 2002.

Seabra, J. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 2008. Tese (Doutorado).

Seabra, J.E.A. Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

Seabra, J.E.A., 2008, "Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R., HOUGHTON R.A., DONG, F., ELOBEID, A., FABIOSA J. (2008). Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319:1238–1240 (2008).

SERRANO, L.A.L.; SILVA, C.M.M.; OGLIARI, J.; CARVALHO, A.J.C.; DETMANN, C.S.M.E. – Utilização de substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujeiro amarelo - Trabalho publicado na Revista Brasileira de Fruticultura, Vol. 28, Nº 03, 2004.

SILVA, C. B.; MORAES, M. A.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*. doi: 10.1007/s11119-009-9155-8, 2010.

Silva, CRU. 2009. Balanço de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro. Dissertação de mestrado defendida na FEM-Unicamp em Julho de 2009.

SILVA, D.S.; SPIER, M.; SCHAFFER, G.; SOUZA, P.V.D. – Caracterização física de bagaço de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas e períodos de compostagem - VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS MATERIAIS REGIONAIS COMO SUBSTRATO - 9 a 12 de setembro de 2008 - Fortaleza – CE, 2008.

Silva, J.E., Resck, D.V.S., Corazza, E.J., Vivaldi, L. (2004). Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 357-363.

SILVA, P.R. – Mercado e comercialização de amora, mirtilo e framboesa - TodaFruta para publicação em 21/07/08, 2008.

SIX, J.; OGLE, S. T.; Z, F. J.; ET AL. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biology*, v. 10, n. 2, p. 155-160. doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x, 2004.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L.; FIXEN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133:247–266, 2009

SOKHANSANJ, S.; TURHOLLOW, A. F.; STEPHEN, J.; ET AL. Analysis of five simulated straw harvest scenarios. *Canadian Biosystems Engineering*, v. 50, n. 2, p. 27-35, 2008.

SOPRAL, Sociedade de Produtores de Açúcar e de Álcool. Avaliação de caminhões e tratores a álcool. Coleção Sopral 3. São Paulo: Sociedade de Produtores de Açúcar e de Álcool, 1983.

SOUSA, S.A.V. Vinhaça: os avanços do uso de vinhaça. In: MACEDO, I.C. (Org.) *A Energia da Cana de açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana de açúcar no Brasil e sua sustentabilidade*. São Paulo : Editora Berlendis & Vertecchia, 2005. p.165-171.

SOUZA, J.A.; BUZZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; VALDERAMA, M.. Efeito de doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho. *FertBio* 2008. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD. Rom. 4p. 2008.

SOUZA, Z.M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO. A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.271-278, 2005.

SPADOTTO, C. A. Gestão de Resíduos: realizações e desafios no setor sucroalcooleiro. (04.06.2008) Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2008/gestao-de-residuos-realizacoes-e-desafios-no-setor-sucroalcooleiro>>. Acesso em: 01/03/2010

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. Soil tillage and precision agriculture A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Soil and Tillage Research*, v. 61, n. 1-2, p. 47-54. doi: 10.1016/S0167-1987(01)00189-1, 2001.

Szwarc, A., 2009, O uso do álcool combustível e o meio ambiente

Szwarc. A. 2010. O Impacto do Uso do Etanol na Qualidade do Ar das Grandes Cidades. In: Cortez, LAB (Coordenador). Etanol.

TARKALSON, D.D.; BROWN, B.; KOK, H.; BJORNEBERG, D.L. Impact of removing straw from wheat and barley fields: a literature review. *Better crops* 93(3): 17-19, 2009.

TEIXEIRA, F. A. Bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504. 2007 Volumen VIII Número 6. Disponível em: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060607/060708.pdf> .

TEMPLETON, D. W.; SLUITER, A. D.; HAYWARD, T. K.; HAMES, B. R.; THOMAS, S. R. Assessing corn stover composition and sources of variability via NIRS. *Cellulose*, v. 16, n. 4, p. 621-639. doi: 10.1007/s10570-009-9325-x, 2009.

THORBURN, P.J.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A.; WOOD, A.W. Long-term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência 2000*, p.217-224, 2000.

THORBURN, P.J.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A.; WOOD, A.W. Long-term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência 2000*, p.217-224, 2000.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; LISSON, S.; WOOD, A.W.; KEATING, B.A. Impacts of trash retention on soil nitrogen and water: na example from the Australian sugarcane industry. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association*, v.73, p.75-79, 1999.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. *Field Crops Research*, v.70, p.223-232, 2001.

THORBURN, P.J.; van ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A. Impact of trash blanketing on soil nitrogen fertility: Australian and South African experience. *Proceedings of the International Sugar Cane Technologists*, v.24, p.33-39, 2001.

TIPPER, R., HUTCHISON, C. & BRANDER, M. (2009). A Practical Approach for Policies to Address GHG Emissions from Indirect Land Use Change Associated with Biofuels - Technical Paper by ecometrica and Greenenergy.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris, International Fertilizer Industry Association, 1997. 151p.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas de nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.2, p.193-201, 2002a.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; G. A. SARRIÉS Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.636-646, 2002b.

TUFAILE\_NETO, M. A. Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash. In: S. J. Hassuani; M. R. Leal; I. D. Macedo; Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash. 1 ed., p.24-26. Piracicaba: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2005.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Dados e cotações. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>

UNICA União da Indústria de Cana de açúcar -Produção de etanol do Brasil Disponível em: <<http://www//unica.com.br/dadosCotação/estatística/>>. Acesso em: 03/04/2010

UNICA, 2009. União da Indústria da Cana-de-açúcar. [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br).

UNICA. Protocolo Agro-Ambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista. . São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Draft regulatory impact analysis: changes to renewable fuel standard program. EPA-420-D-09-001. May 2009.

UNSD – United Nations Statistics Division. Base de dados disponível em <http://unstats.un.org>. 2009.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.S. de; QUEIROZ, J.G.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C. de; BODDEY, R.M. Efeito residual, a longo prazo, da queima, aplicações de vinha e adubo nitrogenado no rendimento da cana-de-açúcar. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25. Viçosa, MG, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1995. p.767-769.

Uso de Vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático da Silva, M. A., Griebeler, N.P., Borges, C. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v. 11, n. 1 p. 108-114, 2007

VALERI, S.V.; POLITANO, W.; SENÔ, K.C.A.; BARRETTO, A.L.N.M. Manejo e recuperação florestal: legislação, uso da água e sistemas agroflorestais. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 180 p.

van ANTWERPEN, R.; THORBURN, P.J.; HORAN, H.; MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C.N. The impact of trashing on soil carbon and nitrogen: II: implications for sugarcane production in South Africa. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association*, v.76, p.269-280, 2002.

van den Wall Bake, J.D., Junginger, M., Faaij, A., Poot, T., Walter, A. (2009). Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. *Biomass and Bioenergy* 33: 644-658.

Velasquez, S.M.S.G. Bioethanol para o transporte sustentável. In: Feira e Congresso Internacional de Energias Alternativas, Renováveis, Limpas e Co-geração. ITM Expo Feiras e Convenções. São Paulo. 2007. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/projetos/best.htm>

Vilela, L., Soares, W.V., Souza, D.M.G., Macedo, M.C. (1998). Calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado. Circular Técnica nº 37, Embrapa. Planaltina, DF.

VILELA, N.J. e HENZ, G. P. – Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras - Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.17, n.1, p.71-89, jan./abr, 2000.

Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola - Dez 2006

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana de açúcar. *Informações Agrônomicas*. Instituto da Potassa e do Fosfato. Encarte técnico Piracicaba, nº 97, p1-16, 2002.

VITTI, G.C.; OLIVEIRA, D.B.; QUINTINO, T.A. Micronutrientes na cultura da cana de açúcar. In: SEGATTO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. Atualização em produção de cana de açúcar, Piracicaba: Alexandre de Sene Pinto, 2006. p.121-138.

Walter A.; Rosillo-Calle, F.; Dolzan, P.; Piacente, E; Cunha, K.B. Perspectives on fuel ethanol consumption and trade. *Biomass and Bioenergy*; 32. 2008a. pp 730-748.

WANG, M., 2007. The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model. Argonne National Laboratory, Chicago, IL <http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html> (verified 14 April 2008).

Wang, M., Huo, H., Arora, S. (2010). Methods of dealing with co-products of biofuels in life-cycle analysis and consequent results within the U.S. context. *EnergyPolicy* (2010), doi:10.1016/j.enpol.2010.03.052.

WEIR, K.L.; ROLSTON, D.E.; THORBURN, P.J. The potential for N losses via denitrification between a green cane trash blanket. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência 1998*, p.169-175, 1998.

WEISKE, A.; BENCKISER, G.; HERBERT, T. & OTTOW, J.C.G. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison with dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol. Fert. Soils*, 34:109-117, 2001.

Whittem, G.Z., 2006, The potential VOC offset by carbon monoxide reduction, Report to Renewable Fuels Association, Smog Reyes, CA.

Whitten, G.Z. e Cohen, J.P., 1996, Regression modeling of oxyfuel effects on ambient CO concentrations, Systems Application Report No. 96/78, disponível em [www.epe.com/OMSwww/fuels.html#oxyfuel](http://www.epe.com/OMSwww/fuels.html#oxyfuel).

Whitten, G.Z., 2001, Air quality in ethanol and gasoline

WILSON, E. O. A Situação atual da diversidade biológica. In: WILSON, E. O. (Org). Biodiversidade. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997. p. 3-24.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. Soil and Tillage Research, v.20, p. 69-85, 1991.

WRI – World Resources Institute. CAIT - Climate Analysis Indicators Tool. Disponível em [www.wri.org](http://www.wri.org). 2009.

ZORZETTO, R.; FIORAVANTI, C.; FERRONI, M. A floresta renasce. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 91, p. 48 – 53, 2003.

### **Metodologias para o tratamento de co-produtos dos biocombustíveis em análises de ciclo de vida**

Nos sistemas em que são obtidos diferentes produtos, é de interesse avaliar qual é a exigência energética ou emissão de poluentes associada a cada um desses produtos. No caso dos biocombustíveis, diferentes co-produtos são verificados. Nas plantas de etanol de milho, por exemplo, o DDGS é um importante co-produto, ao passo que no esmagamento da soja, são produzidos o farelo e o óleo, o qual é posteriormente utilizado para a produção de biodiesel. Já no caso do etanol de cana produzido em destilarias autônomas, os excedentes de bagaço e energia elétrica são os principais co-produtos.

Nas análises de ciclo de vida, diferentes metodologias podem ser utilizadas para tratar os co-produtos. Cinco métodos principais podem ser listados (Wang et al., 2010):

- **Alocação por massa:** os gastos energéticos e emissões da cadeia produtiva do biocombustível são alocados entre os diferentes produtos de forma proporcional às massas que deixam o sistema. Este método pode ser aplicado quando a utilização dos produtos é com base na massa, mas se torna problemático quando os produtos têm usos distintos. Casos em que há co-produção de eletricidade são exemplos típicos em que o método torna-se inapropriado.
- **Alocação por conteúdo energético:** a alocação é proporcional aos fluxos de energia dos produtos, normalmente calculados com base nos respectivos poderes caloríficos. Este método foi adotado pela Diretiva Europeia para energias renováveis. Similarmente ao caso anterior, usos distintos dos diferentes produtos podem gerar inconsistências (e.g., nos casos em que o co-produto é utilizado para a alimentação de animais).
- **Alocação por valor de mercado:** a alocação é baseada na participação dos produtos no faturamento. Este método assume que atividades e decisões são guiadas por interesses econômicos e que, portanto, as responsabilidades devem ser distribuídas de acordo com o benefício econômico. Isso normaliza todos os produtos numa única base, independentemente do propósito de seus usos; entretanto, as flutuações dos preços ao longo do tempo afetam os resultados da análise.
- **Alocação baseada no propósito do processo:** este método estima o uso de energia e emissões dos processos individuais de uma planta. O uso de energia e as emissões são alocados a um determinado produto se o propósito do processo for somente a produção daquele dado produto. Isso requer informações específicas sobre os processos dentro de uma planta e ainda não elimina a necessidade da utilização de outro método de alocação para tratar as emissões que ocorrem em estágios anteriores na cadeia produtiva.
- **Método de substituição (expansão do sistema):** a expansão do sistema ocorre quando as fronteiras do estudo são expandidas para incluir um subprocesso, obtendo somente um produto. Desta maneira, o problema de

alocação pode ser evitado. Neste método, determina-se o produto que seria substituído pelo co-produto do biocombustível. O uso de energia e emissões associados a este produto são créditos a serem subtraídos dos valores associados à cadeia produtiva do biocombustível. Este método é o padrão utilizado por diversos modelos para a análise do ciclo de vida no setor de transportes e no desenvolvimento de regulações sobre biocombustíveis (CARB, EPA, RTFO). Embora seja um método geralmente apropriado para a condução de ACVs, sua utilização impõe grandes desafios, já que também requerem a avaliação do ciclo de vida dos produtos convencionais a serem substituídos.

No estudo conduzido aqui, o farelo de soja seria o co-produto de maior importância dentro do sistema considerado. Como um método de escambo Façon foi adotado, não houve a necessidade da escolha de metodologias de alocação. Para a etapa de conversão, no entanto, optou-se pelo método de alocação baseado na massa dos co-produtos para separar as emissões entre o biodiesel e a glicerina. Mas como a participação da glicerina é relativamente pequena, o uso de diferentes métodos de alocação não traria impactos significativos para o uso de energia e emissões na produção do etanol de cana no sistema integrado.

No caso da cadeia produtiva do etanol, a opção pelo método de substituição para tratar a energia elétrica excedente é natural, conforme discutido em CGEE (2009). Entretanto, quando a co-produção de açúcar é envolvida, assim como a geração de grandes excedentes de energia elétrica, diferentes metodologias podem ser utilizadas, resultando em impactos significativos nas emissões do etanol. Uma discussão sobre esses métodos e seus impactos sobre as emissões dos produtos da cana foram abordados num trabalho a ser publicado em breve.