



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

SIDINEI SILVÉRIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL
COMBUSTÍVEL:
UMA ANÁLISE ECONOMICA, SOCIAL, E AMBIENTAL.**

Londrina
2012

SIDINEI SILVÉRIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL
COMBUSTÍVEL:
UMA ANÁLISE ECONOMICA, SOCIAL, E AMBIENTAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora:
Prof^a Dr^a Irene Domenes Zapparoli

Co-Orientador:
Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

Londrina
2012

SIDINEI SILVÉRIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL COMBUSTÍVEL:
UMA ANÁLISE ECONOMICA, SOCIAL, E AMBIENTAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Irene Domenes Zapparoli
UEL – Londrina - PR

Prof^a Dr^a Marcia Regina Gabardo da Camara
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. José Luiz Parré
UEM – Maringá - PR

Londrina, 18 de maio de 2012.

À minha esposa, Emi Raquel e aos meus filhos,
Vinícius e Matheus, com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor da minha vida e doador de toda a dádiva perfeita, por ter nos amado de tal maneira que sacrificou seu único Filho, Jesus Cristo, em nosso favor.

Aos meus pais, João e Josefa, pelo amor, carinho e incentivos, sempre torcendo por mim e me dando força interior para superar as dificuldades ao longo da jornada.

À minha família por ter suportado e compreendido minhas ausências e as noites em claro.

À Professora Dra. Irene Domenes Zapparoli, meus sinceros agradecimentos, por acreditar em mim, me mostrar o caminho da ciência, fazer parte da minha vida acadêmica nos momentos bons e ruins, pela amizade e orientação firme e segura durante a elaboração desta dissertação.

Ao Professor Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani pelo impecável auxílio como Co-Orientador na aplicação do método *Centre for Environmental Science of Leiden University* (CML) 2000.

À Professora Dra. Marcia Regina Gabardo da Camara, pelo exemplo de profissionalismo, ética e dedicação ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. Sua ajuda foi essencial para que percalços fossem superados. Registrem-se também agradecimentos pelas valiosas sugestões na banca de qualificação.

Ao Professor Dr. José Luiz Parré pelas relevantes contribuições na qualificação e por compor minha banca.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando, em especial a amiga Angela, que além da amizade sincera, assumiu minha carga de trabalho no Departamento de Informática da UEM e propiciou a concretização deste sonho.

À amiga e colega de departamento na Faculdade Cidade Verde, Professora Daniela Carla, pelo incentivo e colaboração na intermediação de autorização para a coleta de dados na Usina Santa Terezinha.

A todos os colegas da segunda turma do mestrado em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina, pelo convívio, a saber: Clécia Ivania Rosa Satel, Lucas Gameiro, Talita Cristiane Martins, Rodrigo Rafael Zanon, João Amílcar Rodrigues Anhesini, Angel dos Santos Fachinelli, Rita de Cássia Garcia Margonato, Alisson Ortiz Rigitano e Marcela Vieira Rodrigues da Cunha.

Aos professores da Pós-Graduação em Economia Regional pelo aprendizado e troca de experiências.

Aos supervisores Administrativos, Sr. Jarbas; e de Qualidade Total, Eng^a Química Rosaura, da Unidade Paranacity da Usina Santa Terezinha, pelo fornecimento de dados que possibilitaram a elaboração deste trabalho.

Certamente há muito mais a quem agradecer. A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos, o meu reconhecido e carinhoso muito obrigado!

Homens práticos, que se julgam absolutamente imunes a quaisquer influências intelectuais, em geral são escravos de algum economista já falecido.

KEYNES, John Maynard

SILVA, Sidinei Silvério da. **Avaliação do ciclo de vida (ACV) do etanol combustível**: uma análise econômica, social e ambiental. 2012. 129 p. Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste em analisar por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), os aspectos econômicos, sociais e ambientais, concernentes à produção do etanol hidratado, a partir da cana-de-açúcar, na Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha. Os procedimentos metodológicos adotados são descritos a seguir: revisão de literatura, coleta de dados e aplicação do método *Centre for Environmental Science of Leiden University* (CML) 2000, seguindo recomendações da série ISO 14040. A análise dos resultados permite concluir que quanto aos aspectos econômicos e sociais, a agroindústria canavieira no Brasil, Paraná e em Paranacity-PR, nos últimos 20 anos, tem aumentado a área de plantio, as quantidades de cana processada, açúcar e etanol produzidos, gerando emprego e renda, contribuindo para a formação do Produto Interno Bruto (PIB) e para a arrecadação tributária, incrementando divisas e investimentos em P&D. Quanto aos aspectos ambientais do ciclo de vida do etanol hidratado produzido na Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, a fase agrícola representa, relativamente, o maior impacto ambiental potencial quando confrontada com a etapa industrial e de transporte do biocombustível ao Porto de Paranaguá. O destaque para as categorias de impacto ficam por conta das categorias atreladas às questões de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade em Águas Doces, em que a relevância do plantio da cana-de-açúcar supera a contribuição de 90%. As interferências ambientais da fase agrícola somente não se manifestam na Depleção da Camada de Ozônio. Para as demais fases deste ciclo de vida, os ápices de relevância para a fermentação do etanol e do transporte do produto ocorrem, respectivamente, nas categorias de Eutrofização e Depleção da Camada de Ozônio. Em última análise, pelos resultados apresentados nas categorias de impacto, a conclusão do estudo confirma a hipótese de que o etanol hidratado pode ser considerado um combustível renovável, porém, não limpo.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida (ACV). Etanol combustível. Agroindústria Canavieira. Impactos econômicos, sociais e ambientais. Método CML 2000.

SILVA, Sidinei Silvério da. **Life cycle assessment (LCA) of fuel ethanol: an economic analysis, social and environmental.** 2012. 129 p. Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze through the Life Cycle Assessment (LCA), the economic, social and environmental issues concerning the production of hydrated ethanol, from cane sugar, in the Unit Group Paracity St. Therese. The methodological procedures are described below: a literature review, data collection and application of the method Centre for Environmental Science of Leiden University (CML) in 2000, following recommendations of the ISO 14040 series. The analysis of the results shows that the economic and social aspects, the sugarcane industry in Brazil, Parana and Paracity-PR in the last 20 years has increased the acreage, the quantities of processed sugar cane, sugar and ethanol produced, generating employment and income, contributing to the formation of the Gross Domestic Product (GDP) and tax revenues, foreign exchange and increasing investments in R & D. The environmental aspects of the life cycle of hydrated ethanol produced at the Group Santa Terezinha, the agricultural phase is relatively the greatest potential environmental impact when confronted with the industrial phase of biofuel and transport to the Porto of Paranaguá. The emphasis on the impact categories are related to the categories linked to issues of human toxicity and ecotoxicity in Freshwater, where the relevance of the planting of cane sugar exceeds the contribution of 90%. The agricultural phase of environmental interference not only manifested in the depletion of the Ozone Layer. For the other phases of this lifecycle, the tips of relevance to the fermentation of ethanol and transportation of the product occur, respectively, in the categories of eutrophication and depletion of the Ozone Layer. Ultimately, the results presented in the categories of impact, the conclusion of the study confirmed the hypothesis that the hydrous ethanol may be considered a renewable, but not cleared.

Keywords: Cycle Assessment (LCA). Ethanol fuel. Sugarcane Industry. Economic, social and environmental impacts. Method CML 2000.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas, 2000-2008	32
Tabela 2 – Informações Técnicas da Cultura da Cana-de-açúcar, Brasil, 2010.....	33
Tabela 3 – Lavoura da cana-de-açúcar, ano civil, Brasil, 2000-2010	33
Tabela 4 – Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras, Safras 2003/04 – 2008/09, em toneladas	34
Tabela 5 – Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras, média entre as safras 2004/05 – 2010/11	35
Tabela 6 – Produção Brasileira de Etanol Total (Anidro + Hidratado), 2004/05-2010/11 (mil litros).....	36
Tabela 7 – Exportações Anuais de Etanol pelo Brasil, ano civil, período 2000-2010	37
Tabela 8 – Exportações Brasileiras de Etanol por País de Destino, 2006-2010.....	38
Tabela 9 – Brasil, Licenciamento de Automóveis e Comerciais Leves por Tipo de Combustível, 2000-2010.....	39
Tabela 10 – Produção da Agroindústria Canavieira no Paraná, Safras 1991/92-2009/10	42
Tabela 11 – Repasses Tributários Estaduais ao Município de Paranacity-PR, período 2005 a 2011	44
Tabela 12 – Informações de produção, Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, período 2005 a 2010	45
Tabela 13 – Evolução do Mercado de Trabalho, Paranacity-PR, período 2006 a 2010	45
Tabela 14 – Consumo de herbicidas, inseticidas, nematicidas, formicidas e controle da broca da cana, safra 2011	82
Tabela 15 – Dados de produção, consumo de recursos e geração de resíduos, considerando a unidade funcional.....	83
Tabela 16 – Relação dos processos mais relevantes à caracterização da ecotoxicidade em águas doces.....	87

Tabela 17 –	Relação dos processos mais relevantes à Caracterização de toxicidade humana	89
Tabela 18 –	Listagem dos processos mais relevantes à Caracterização da acidificação	91
Tabela 19 –	Elenco de processos mais representativos para esta ategoria de Impacto	93
Tabela 20 –	Listagem dos maiores contribuintes ao Aquecimento Global	95
Tabela 21 –	Processos mais relevantes à depleção da camada de Ozônio	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Circuito Econômico ampliado.....	24
Figura 2	–	Setor Sucroenergético – Mapa da Produção (2010).....	32
Figura 3	–	Fluxograma das Relações Existentes entre os Mercados de Etanol, Açúcar e Petróleo	40
Figura 4	–	Usinas e Destilarias Filiadas a Alcopar – PR, posição de Outubro 2011	43
Figura 5	–	A Eletricidade da Biomassa a partir da cana	54
Figura 6	–	Representação das Etapas Consideradas em um Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	64
Figura 7	–	Fases de Um Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a partir da International Organization Standardization (ISO) 14040.....	65
Figura 8	–	Diagrama de Produção da Agroindústria Canavieira	68
Figura 9	–	Cadeia Produtiva de Energia Térmica a partir da Cana-de-Açúcar.....	69
Figura 10	–	Representação dos Fluxos Econômicos e Ambientais de Entrada e de Saída de um Processo Econômico.....	73
Figura 11	–	Elementos da Fase de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV)	74
Figura 12	–	Unidades do Grupo Santa Terezinha.....	77
Figura 13	–	Vista Panorâmica da Unidade de Paranacity-PR, Usacucar	78
Figura 14	–	Cana processada por tipo de corte, safra 2011, em toneladas.....	79
Figura 15	–	Energia elétrica gerada, consumida e exportada, safra 2011, em KW	80
Figura 16	–	Causas de perdas na moagem durante a safra 2011, em horas	81
Figura 17	–	Etapa de caracterização do impacto do ciclo de vida do etanol hidratado – do berço ao porto	84
Figura 18	–	Normalização dos impactos ambientais, considerando o impacto médio de um cidadão, sob perspectiva global de 1995.....	85
Figura 19	–	Relação da contribuição de cada etapa à Toxicidade Humana, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 0,69%.....	88

Figura 20 – Relação da contribuição de cada etapa à Toxicidade Humana, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 0,69%.....	90
Figura 21 – Rede demonstrando a contribuição das etapas e processos ao total de impactos desta categoria	92
Figura 22 – Rede, considerando limite de corte de relevância 3,05%, para a Eutrofização	94
Figura 23 – Rede para o Aquecimento Global, considerando limite de corte de 5%.....	96
Figura 24 – Rede ilustrativa dos impactos à Camada de Ozônio, considerando um limite de corte de 35%	98
Figura 25 – Análise de Monte Carlo para o Etanol Hidratado do Grupo Santa Terezinha.....	100
Figura 26 – Análise de Monte Carlo para o Etanol Hidratado do <i>ecoinvent</i> , considerando-se modelagens idênticas ao produto em estudo	100
Figura 27 – Análise de Sensibilidade para a produção de defensivos agrícolas	101
Figura 28 – Análise de Sensibilidade para comparação com <i>ecoinvent</i>	102
Figura 29 – Exposição da diferença porcentual encontrada nos resultados ao se desconsiderar os processos de infraestrutura.....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida
ALCOPAR	Associação de Produtores de Bionergia do Estado do Paraná
AMCESP	Associação dos Municípios Canavieiros do Estado de São Paulo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANFAVEA	<i>Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores</i>
ANP	Agência Nacional do Petróleo
AP	<i>Acidification Potential</i>
AR	Açúcares Redutores
ART	Açúcares Redutores Totais
ASTM	<i>International Develops International Standards for Materials, Products, Systems and Services used in Construction, Manufacturing and Transportation.</i>
BBA	Bolsa Brasileira de Álcool
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRIX	É a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose.
CEPAAL	Fundação da Coligação das Entidades Produtoras de Açúcar e Álcool
CFC	Clorofluorcarbonetos
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
CO ₂	Dióxido de carbono
COI	Centro de Operações Integradas
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CONSECANA	Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar
COP	Conferência das Partes
MOP	Reunião das Partes do Protocolo de Kyoto
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
EDIP	<i>Environmental Development of Industrial Products</i>

EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HTP	<i>Human Toxicity Potential</i>
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KW	<i>Kilowatts</i>
LBD	<i>Learning-by-doing</i>
LBU	<i>Learning-by-using</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ME	Massa Específica
MWh	<i>Megawatt hora</i>
NBR	Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
NP	<i>Nutrition Potential</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
ONG	Organização Não-Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
POL	Polarização do Açúcar
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool

REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SA	<i>Social Accountability</i>
SAC	Sacarose
SPOLD	Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida
SUCROALCO	Associação Paulista Agroindústria Sucroalcooleira
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
UNICA	União da Agroindústria Canavieira de São Paulo
USACUCAR	Usina Santa Terezinha Ltda.
USEPA	<i>U. S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation</i>
VHP	<i>Very High Polarization</i>
Vx	Volume de x
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1 ECONOMIA ECOLÓGICA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA	21
1.1 ECONOMIA ECOLÓGICA.....	21
1.2 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DA ACV	27
2 EVOLUÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO	30
2.1 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA	30
2.1.1 A Agroindústria Canavieira Paranaense.....	40
2.1.2 A Importância da Unidade Paranacity para o município de Paranacity-PR.....	43
2.2 NOVAS TECNOLOGIAS E PERSPECTIVAS PARA O MERCADO DO ETANOL.....	46
3 METODOLOGIA	56
3.1 BASE DE DADOS	56
3.2 O PROCEDIMENTO DE PESQUISA E ANÁLISE: ETAPAS DE UM ESTUDO DE ACV	63
3.2.1 Definições dos Objetivos e Escopo da ACV	66
3.2.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida.....	72
3.2.3 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV).....	73
4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL HIDRATADO PRODUZIDO PELA UNIDADE PARANACITY DO GRUPO SANTA TEREZINHA	76
4.1 HISTÓRICO DO GRUPO SANTA TEREZINHA.....	76
4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DA UNIDADE PARANACITY	78
4.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV) DA UNIDADE PARANACITY.....	82
4.3.1 Considerações e Premissas.....	82
4.3.2 Avaliação das Categorias de Impacto.....	84
4.3.2.1 Análise de contribuição – ecotoxicidade em águas doces.....	86
4.3.2.2 Análise de contribuição – toxicidade humana.....	89
4.3.2.3 Análise de contribuição – acidificação.....	91
4.3.2.4 Análise de contribuição – eutrofização.....	93
4.3.2.5 Análise de contribuição – aquecimento global	95
4.3.2.6 Análise de contribuição – depleção da camada de ozônio.....	97
4.3.3 Análise de Incerteza.....	99

4.3.4 Análise de Sensibilidade.....	101
4.3.4.1 Inserção da produção de defensivos químicos.....	101
4.3.4.2 Comparação com os inventários disponíveis no <i>ecoinvent</i>	102
4.3.4.3 Exclusão dos processos de infraestrutura.....	102
5 CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICES.....	115
APÊNDICE A.....	116
APÊNDICE B.....	117
APÊNDICE C.....	118
APÊNDICE D.....	119
APÊNDICE E.....	120
APÊNDICE F.....	121
APÊNDICE G.....	122
APÊNDICE H.....	123
APÊNDICE I.....	124
APÊNDICE J.....	125
APÊNDICE K.....	126
APÊNDICE L.....	127
ANEXOS.....	128
ANEXO A.....	129

INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XVIII, iniciou-se na Inglaterra um conjunto de transformações técnicas e econômicas, conhecido como Revolução Industrial, que culminou na substituição das ferramentas de trabalho pelas máquinas e da fabricação doméstica pelo sistema fabril. Impulsionadas pelas pesquisas científicas, as fábricas passaram a dispor para os agentes econômicos uma infinidade de produtos, modificando tanto o cotidiano como também as relações econômicas, sociais e ambientais.

A partir de então, verificou-se o uso em larga escala dos recursos naturais, sem a preocupação com o esgotamento dos mesmos e/ou com a geração de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos). A abundância dos recursos naturais talvez seja uma das razões pelas quais os economistas não prestaram atenção às questões ambientais em épocas anteriores, afinal, a economia vem sendo definida como a ciência que aloca recursos escassos para fins alternativos (CLEMENTE; HIGACHI, 2000; LUSTOSA, 2009).

Os danos causados ao meio ambiente de origem antrópica acompanham o ritmo do crescimento econômico. A partir do século XIX, com a intensificação do processo de industrialização e dos sistemas agropecuários, a demanda por recursos naturais e os danos ao meio ambiente tornaram-se crescentes. A constatação de que a capacidade de suporte do planeta estava chegando ao seu limite, seja pela quantidade de poluentes lançados no ambiente ou pela exaustão dos recursos naturais, data do final dos anos de 1960 (LEFF, 2002).

Uma vez que as atividades humanas de consumo e produção industrial demandam cada vez mais o consumo de energia, tem-se expandido no Brasil a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, com destaque no âmbito mundial, como matriz energética renovável e alternativa aos combustíveis de origem fóssil.

Estudar o ciclo de vida do etanol combustível, produzido a partir da cana-de-açúcar, portanto, é relevante na medida em que a busca por novas tecnologias e aumento na produtividade tornam-se necessários no sentido de minimizar o empobrecimento do solo e riscos de ocorrência de surtos de pragas ou doenças, e, mitigar os desequilíbrios nos corpos hídricos, buscando uma maior eficiência ambiental e econômica.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), segundo Mattson e Sonesson (2003), consiste em avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, desde a extração dos recursos naturais até o uso e disposição final do produto. As categorias gerais de impacto ambiental consideradas em estudos de ACV incluem uso de recursos naturais, implicações sobre a saúde humana e consequências ecológicas. Uma vez que o ciclo de vida do etanol combustível considera fluxos de entradas e saídas para a economia e o ambiente, é possível analisar impactos econômicos, sociais e ambientais no decorrer do mesmo.

Nesse sentido, as questões de pesquisa do presente estudo são apresentadas a seguir: Qual o perfil econômico-social-ambiental da agroindústria canieira na produção do etanol combustível no Brasil e no Paraná? Quais são os impactos econômicos, sociais e ambientais durante o ciclo de vida do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha?

O objetivo geral deste estudo é analisar por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) os aspectos econômicos, sociais e ambientais concernentes à produção do etanol hidratado, a partir da cana-de-açúcar, na Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha.

Os objetivos específicos são: discutir o arcabouço teórico da Economia Ecológica; verificar a evolução econômica, social e ambiental do setor sucroalcooleiro no Brasil e no Paraná; identificar as fronteiras tecnológicas do etanol no Brasil; e, analisar o Ciclo de Vida (ACV) do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, utilizando-se do método CML 2000.

A hipótese deste trabalho é que o etanol combustível produzido a partir da cana-de-açúcar trata-se de uma energia renovável, porém, não limpa, em virtude dos impactos gerados no horizonte do seu ciclo de vida.

A seleção da região de estudo considerou a importância econômica do Grupo Santa Terezinha para o Estado do Paraná, haja vista que a mesma é a maior indústria sucroalcooleira paranaense, bem como a relevância da Unidade Paranacity para o município de Paranacity-PR.

Este trabalho é composto por cinco partes, além desta introdução. Na primeira parte apresenta-se o referencial teórico abordando a economia e ecologia ambiental frente à escassez de recursos naturais. A segunda parte demonstra a evolução do setor sucroenergético em termos socioeconômico e ambiental,

discutindo as fronteiras tecnológicas e a possibilidade do surgimento de um mercado mundial para o etanol combustível.

Na terceira parte do estudo apresenta-se a metodologia para Análise do Ciclo de Vida (ACV) do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, apresentando as etapas consideradas em um estudo de ACV e descrevendo o método CML 2000, utilizado para mensurar as categorias de impacto ambiental.

A quarta parte é caracterizada pela Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, que consiste na contabilização de todos os impactos ambientais desde o cultivo da matéria-prima até a chegada do etanol combustível ao Porto de Paranaguá-PR.

Após a discussão de resultados, apresentam-se as principais conclusões e contribuições da pesquisa, nas considerações finais.

1 ECONOMIA ECOLÓGICA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Esta parte da pesquisa apresenta a revisão de literatura sobre a economia e ecologia ambiental frente à escassez de recursos naturais e a geração de resíduos, e da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de gestão ambiental, que deriva dos conceitos da Economia Ecológica.

1.1 ECONOMIA ECOLÓGICA

No fim do século XVIII e início do século XIX, os economistas clássicos (Smith, Ricardo, Malthus e outros), viviam num cenário em que a agricultura ainda dependia fortemente da natureza, ou seja, de condições do meio ambiente, considerado na época, neutro e passivo. Como a escala de produção industrial ainda era reduzida, os clássicos não manifestavam preocupação em relação à exploração dos recursos naturais e a possíveis impactos do despejo no meio ambiente de resíduos e dejetos pelo sistema econômico (HUGON, 1980).

A escola neoclássica, que começou a se consolidar em meados do século XIX, também ignorou as relações dos recursos naturais com o sistema econômico, focando suas análises e modelos, no desenvolvimento tecnológico. Essa postura culminou com a elaboração de modelos de crescimento econômico, que consideraram a economia funcionando de forma totalmente independente do meio ambiente. Em outras palavras, a economia pode crescer indefinidamente, apoiada apenas na expansão da força de trabalho e na acumulação do capital físico construído. Essas ideias configuram-se no alicerce da corrente de pensamento conhecida como economia ambiental neoclássica, que desde o final da década de 1960 domina a economia do meio ambiente.

Pensando as relações econômicas, sociais e ambientais de forma diferente ao *mainstream* neoclássico, intelectuais, governos, organizações não governamentais e alguns economistas, a partir dos anos 1960, começaram um movimento mundial de conscientização ambiental.

Em termos de publicações, pode-se mencionar o livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, escrito em 1962 e que destaca as interconexões entre a natureza, a economia e o bem estar do ser humano; e, o relatório do Clube

de Roma (1972), que apresentou dados que indicavam fortemente o esgotamento da capacidade do planeta para arcar com os atuais níveis de exploração de recursos, propondo o “crescimento econômico zero” (MEADOWS, 1973).

Ainda em 1972, o primeiro grande debate mundial sobre os temas ambientais tem como referência a Conferência de Estocolmo, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), na Suécia, em face das relações sociedade e natureza. O dia 5 de junho, que marcou o início dos trabalhos da Conferência, foi oficializado pela ONU como o "Dia Mundial do Meio Ambiente" (MENDONÇA, 2011).

A revolução do pensamento econômico-ambiental ocorreu com a publicação em 1971, da obra intitulada *The Entropy Law and the Economic Process*, por Nicholas Georgescu-Roegen, dando origem à Economia Ecológica. Nessa obra Georgescu-Roegen relaciona a economia com as leis da termodinâmica, em que a Lei da Entropia explica a entropia do universo físico e como isso se aplica à natureza do processo econômico, bem como a maneira pela qual o homem está acelerando o esgotamento entrópico dos recursos naturais (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

Para os economistas ecológicos, deve-se destacar que economia e meio ambiente estão diretamente relacionados:

[...] o problema da economia política da sustentabilidade é visto como um problema de distribuição intertemporal de recursos naturais finitos, o que pressupõe a definição de limites para seu uso (escala). Além disso, trata-se de um processo envolvendo agentes econômicos cujo comportamento é complexo em suas motivações (as quais incluem dimensões sociais, culturais, morais e ideológicas) e que atuam num contexto de incertezas e de riscos de perdas irreversíveis que o progresso da ciência não tem como eliminar. Desse modo, tanto a natureza como o papel da ação coletiva são completamente distintos daqueles pressupostos no esquema analítico convencional. Trata-se de um processo de escolha pública em que caberá à sociedade civil, em suas várias formas de organização (o Estado entre outras), decidir, em última instância, com base em considerações morais e éticas (ROMEIRO, 2010, p.1).

No período pós-moderno, portanto, o debate acadêmico sobre desenvolvimento sustentável se concentra em duas correntes principais de interpretação. De um lado a chamada Economia Ambiental que analisa os recursos naturais na lógica do mercado e considera que os mesmos não representam, a longo prazo, um limite absoluto à expansão da economia. E de outro, a Economia Ecológica, que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém, impondo uma restrição absoluta à sua expansão. Em outras palavras, a

longo prazo, a sustentabilidade do sistema econômico não é possível sem estabilização dos níveis de consumo *per capita* de acordo com a capacidade de carga do planeta (ROMEIRO, 2010).

Nas palavras de Georgescu-Roegen (1986):

To wit, Ricardian land (i.e., terrestrial space) is finite but only at a given moment; over time it is not, since we can use it over and over again without diminishing its amount. By contrast, since low entropy of energy or matter can be used only once, the scarcity of these elements steadily increases. This is the most important object lesson of thermodynamics for the modern economist (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p.8).

Apesar da inclusão dos recursos naturais nas representações de função de produção [$Y=f(K, L, R)$] neoclássicas, os mesmos mantiveram o conceito de substitutibilidade perfeita entre capital, trabalho e recursos naturais, supondo que os limites impostos pela disponibilidade de recursos naturais podem ser indefinidamente superados pelo progresso técnico que os substitui por capital ou trabalho.

Nesse sentido, Georgescu-Roegen (1971)¹, argumenta que o sistema econômico não pode contrariar as leis da física. Segundo ele, a segunda lei da termodinâmica estabelece que o grau de degeneração de um sistema isolado tende a aumentar com o tempo, impedindo a existência de moto-perpétuos (uma máquina capaz de produzir trabalho ininterruptamente utilizando a mesma energia). Da mesma forma, o sistema econômico não pode se mover para sempre sem entrada de recursos e saída de resíduos, sendo o sistema produtivo, portanto, linear e aberto, e não circular.

Apesar de considerar o diagrama do fluxo circular da renda uma simplificação bastante útil do sistema econômico, Georgescu-Roegen (1971) *apud* Cechin e Veiga (2010), considera a ideia de que tanto os bens de capital, quanto a força de trabalho que são mantidos constantes não deixam de ser uma ficção, pois o

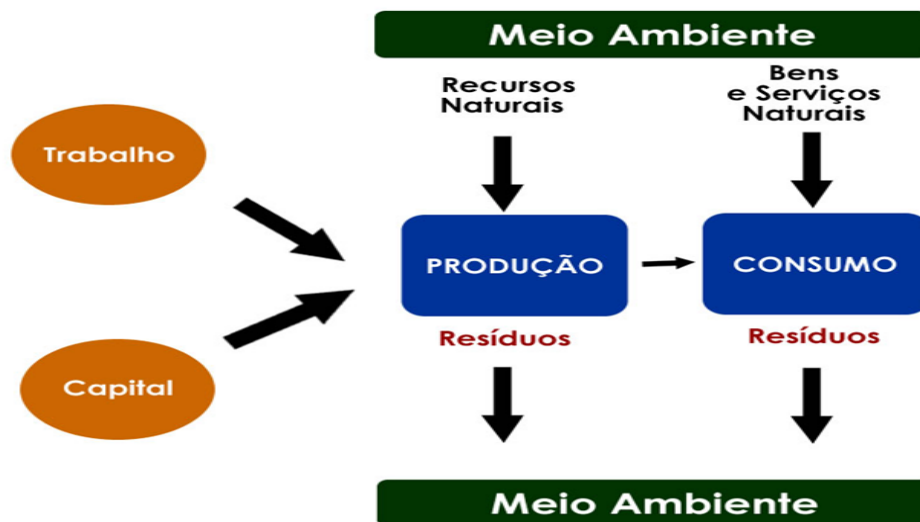
¹ Matemático e economista de origem romena e considerado o pai da economia ecológica. Reconhecido por suas contribuições ao *mainstream*, publicou em 1971 a obra seminal intitulada *The Entropy Law and the Economic Process* que, embora saudada por Paul Samuelson como uma obra revolucionária, passou todos esses anos sob o silêncio da maioria dos economistas convencionais. A razão desse silêncio na verdade não é difícil de entender. A consideração da lei da entropia no raciocínio econômico forçaria a revisões profundas no corpo teórico convencional, a começar pela representação básica do funcionamento da economia por meio do diagrama do fluxo circular da renda (ROMEIRO, 2010).

processo econômico muda contínua, quantitativa e qualitativamente máquinas e equipamentos.

Romeiro (2010) ressalta que a obra de Georgescu-Roegen é relevante no sentido da introdução da ideia de irreversibilidade e de limites na teoria econômica, que decorre da segunda lei da termodinâmica (lei da entropia) em contraposição à primeira lei da termodinâmica (sobre a transformação da matéria), na qual essa ideia não faz sentido e sobre a qual se baseia implicitamente a teoria econômica convencional.

No período recente, a magnitude da escala atual das atividades humanas tem levantado o problema do limite da capacidade de suporte do planeta Terra, seja como fornecedor de bens e serviços naturais, seja como receptor dos rejeitos das atividades humanas de consumo e produção industrial, conforme representação do circuito econômico ampliado (Figura 1).

Figura 1 – Circuito econômico ampliado



Fonte: Adaptado de Clemente e Higachi (2000)

No atual estágio de desenvolvimento do capitalismo é inconcebível a manutenção dos padrões de consumo e produção sem o uso de energia, seja ela renovável ou não. Enquanto no passado, a energia era tratada como sendo meramente um problema de fornecimento de insumo para a produção, ameaçada nos anos de 1970 pelos choques de petróleo e pela consequente elevação do seu preço, nos anos de 1980 torna-se uma questão fortemente ligada à preservação do meio ambiente. A crescente ligação entre energia e meio ambiente articula-se com a

ciência e a tecnologia, mobilizadas para resolver o problema de melhorar a eficiência na transformação (produção e consumo final), no transporte e na distribuição, e na disposição de resíduos.

Dentre os impactos ambientais, o que tem se destacado em âmbito internacional é o aquecimento global, provocado pelo efeito estufa antropogênico. De acordo com Cohen (2010), a luta contra o aumento do efeito estufa é muito mais complexa do que aquela que vem sendo tratada, por exemplo, pela proteção da camada de ozônio. O uso de clorofluorcarbonetos (CFC) restringe-se a poucas aplicações industriais e alguns eletrodomésticos, como geladeiras e aparelhos de ar condicionado, onde sua substituição por gases inócuos ou menos nocivos não constitui uma tarefa tão custosa. Já a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) se apresenta como algo mais difícil de atingir, pois sua principal causa, a queima de combustíveis fósseis, está presente em quase todas as atividades humanas.

Para Pereira e May (2010), há milhares de anos, o efeito estufa natural proporciona ao nosso planeta as condições ideais para o desenvolvimento da vida. A partir da era industrial, no entanto, o homem vem progressivamente interferindo no sistema climático do planeta, que passa por um processo de aquecimento global, trazendo consequências irreversíveis e possivelmente catastróficas para as sociedades humanas, para os ecossistemas e sua biodiversidade. Em função de determinadas atividades econômicas, das quais decorrem emissões de alguns GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO_2), a concentração dos mesmos na atmosfera da Terra vem aumentando. Essa é a principal causa do atual processo de intensificação do efeito estufa natural e do aquecimento decorrente deste.

Segundo Cohen (2010), atualmente, não se encontram disponíveis em larga escala substitutos baratos para os combustíveis fósseis, ainda que, a médio e longo prazo, as perspectivas das energias renováveis (solar, eólica, biomassa, eletricidade e outras) e das tecnologias de conservação de energia sejam cada vez mais promissoras. Portanto, reduções significativas das emissões de GEE, a curto prazo, envolveriam custos e/ou mudanças em estilos de vida e padrões de consumo. Essa é a principal razão pela qual alguns países, especialmente os Estados Unidos, vêm resistindo a qualquer tentativa de fixação de metas e prazos para a redução das emissões de GEE.

Nesse sentido, com o objetivo explícito de reduzir ou no mínimo estabilizar a concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera do planeta e de propor medidas de mitigação às ameaças e aos efeitos danosos das mudanças climáticas, o Protocolo de Kyoto incluiu três mecanismos de flexibilização a serem utilizados para cumprimento dos compromissos da Convenção: i) implementação conjunta (*JI – Joint Implementation*), comércio de emissões (*ET - Emissions Trade*) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (*CDM – Clean Development Mechanism*). Os dois primeiros, constituídos de modo a serem utilizados entre países industrializados do Anexo I, objetivam a contabilização de reduções líquidas de emissões de gases com execução de projetos em outros países, também do Anexo I (Anexo A). O MDL, por sua vez, foi desenvolvido a partir de uma proposta da delegação brasileira que previa a constituição de um Fundo de Desenvolvimento Limpo. Segundo a proposta original, esse Fundo seria constituído por aporte financeiro dos grandes países emissores no caso de não atingirem metas de redução consentidas entre as partes (BRASIL, 1999).

Na 11ª Conferência das Partes (COP-11) realizada em 2005, em Montreal, Canadá, foi realizada em paralelo a Primeira Conferência das Partes do Protocolo de Kyoto (COP/MOP-1). Foram duas reuniões de extrema importância, uma vez que a COP-11 e a COP/MOP-1 foram as primeiras conferências realizadas após a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto (Conferência das Partes - COP-3), em 16 de fevereiro de 2005. As discussões se pautavam nas perspectivas para o segundo período do acordo, pós 2012. As associações ambientais da Europa apontam para a necessidade de uma redução de 20 a 30% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), com base no ano de 1990, até 2030, e de 60% a 80%, até 2050 (BRASIL, 2009b). Outro destaque foi a importância dada aos países em desenvolvimento, principalmente China, Índia e Brasil, na prevenção dos impactos provenientes do efeito estufa (PEREIRA; GUTIERREZ, 2009).

Os recursos naturais podem ser classificados em renováveis (reprodutíveis) e não renováveis (exauríveis). Os solos, o ar, as águas, as florestas, a fauna e a flora são considerados recursos naturais renováveis, pois seus ciclos de recomposição são compatíveis com o horizonte de vida do homem. Os minérios em geral e os combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) são tido como não renováveis, uma vez que são necessárias eras geológicas para sua formação (SILVA, 2010).

Dada à perspectiva de esgotamento dos combustíveis fósseis e o apelo ambiental dos biocombustíveis, o etanol combustível, corroborado pela co-geração de energia elétrica, tem colocado o Brasil como destaque no cenário internacional.

Apesar de o etanol figurar como o principal biocombustível substituto dos combustíveis de origem fóssil, segundo Skikida *et al* (2008), o mesmo está sujeito a questionamentos por parte dos mercados internacionais quanto à sua capacidade de expandir a oferta, em linha com as práticas da produção sustentável. Por esta razão, os mesmos propõem a certificação socioambiental (ISO 14001, SA 8000 e NBR 16001) para a cultura da cana-de-açúcar como ferramenta de garantia da produção sustentável do etanol brasileiro, reduzindo a assimetria de informações com o mercado externo e mitigando ou eliminando barreiras não tarifárias ao produto.

De acordo com Dufey (2006) *apud* Skikida *et al* (2008), o debate envolvendo biocombustíveis e desenvolvimento sustentável é variado e complexo. Isso ocorre, porque os biocombustíveis apesar de implicarem em maior segurança no suprimento de energia, ganhos econômicos, desenvolvimento de áreas rurais e redução nas emissões dos Gases de Efeito Estufa; também expandem a fronteira agrícola, podendo gerar desmatamento, monoculturas, poluição da água, ameaças à segurança alimentar, condições precárias de trabalho e distribuição injusta dos benefícios ao longo da cadeia de valor.

Nesse sentido, convém destacar que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vai de encontro ao arcabouço teórico da Economia Ecológica, pois considera o sistema econômico linear e aberto, com fluxos de entradas e saídas para a economia e para o ambiente.

Na próxima seção demonstram-se algumas evidências empíricas da aplicação da ACV na melhoria de produtos e processos, e na implementação de políticas públicas com viés ambiental.

1.2 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o impacto potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. A ACV também permite identificar quais estágios do ciclo de vida têm contribuição mais significativa para o impacto ambiental do processo ou produto

estudado. Empregando a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços.

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60, com destaque para o estudo conduzido em 1969, pelo *Midwest Research Institute* (MRI), que procurou quantificar as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas utilizadas pela Coca-Cola. Um dos resultados deste estudo foi demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as garrafas de vidro (HUNT; FRANKLIN, 1996).

Em se tratando dos primeiros estudos de ACV, os mesmos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” (*energy analysis*).

O interesse por estudos de ACV enfraqueceu com a crise do petróleo. Porém, a ACV ressurgiu na década de 1980 em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente. A partir de 1990, os estudos de ACV se expandiram muito e foram impulsionados pela normalização proporcionada pela série de normas ISO 14040.

Segundo Hindle e Oude (1996) *apud* Ferreira (2004), em 1992, foi formada a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida (SPOLD), com a missão de juntar recursos, para acelerar o desenvolvimento da metodologia ACV como uma abordagem de gestão aceita para ajudar na tomada de decisão.

No Brasil, os primeiros estudos de ACV começaram nos anos 2000 e desde essa época várias iniciativas estão sendo realizadas para consolidar essa importante ferramenta de gestão ambiental. Dentre essas iniciativas, destacam-se: o Projeto Brasileiro de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); o Programa Brasileiro de Ciclo de Vida estabelecido pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro); e o Projeto do Centro Regional (América Latina) de Ciclo de Vida, que busca facilitar o intercâmbio de informações em ACV e facilitar o desenvolvimento de ICVs regionalizados (ACV BRASIL, 2010).

Dada à relevância da ACV, no Brasil, foi aprovada a Lei n. 12.305, em 02 de agosto de 2010, regulamentando o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que foi concebido com base na análise do ciclo de vida do produto e na logística reversa (BRASIL, 2010).

No que se refere às publicações nacionais sobre ACV, destacam-se os trabalhos de Lopes *et al* (2002), Soares; Pereira e Breitenbach (2002), Gatti; Queiroz e Garcia (2007), Jaime (2007), Coltro e Mourad (2007), Lima (2007); Barbieri e Cajazeira (2009); Silva e Zapparoli (2011a) e Silva e Zapparoli (2011b).

No caso dos biocombustíveis, pode-se citar o trabalho de Angarita (2008) que estudou a avaliação do impacto energético e ambiental da co-geração no balanço e no ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma africana; e, Ometto (2005), que se utilizando dos métodos *Environmental Development of Industrial Products* (EDIP), Exergia e Emergia avaliou o ciclo de vida (ACV) do álcool etílico hidratado combustível, demonstrando que a atividade da colheita de cana apresenta o maior potencial de impacto para o consumo de recursos renováveis, o aquecimento global, a formação fotoquímica de ozônio troposférico, a acidificação e a toxicidade humana. O preparo do solo apresenta maior potencial para o consumo de recursos não renováveis e para a ecotoxicidade da água. O trato cultural apresenta maior influência na eutrofização e na ecotoxicidade do solo.

Feita a contextualização teórica e a demonstração de trabalhos empíricos da ACV, realiza-se a seguir uma análise descritiva da evolução socioeconômica e ambiental da agroindústria canavieira brasileira e paranaense, bem como se discute os aspectos de inovação tecnológica nas esferas agrícola e industrial.

2 A EVOLUÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

Esse capítulo procura apresentar a evolução socioeconômica do setor sucroenergético brasileiro e paranaense, com destaque para a produção do etanol combustível. Para tanto, num primeiro momento analisam-se questões econômicas, sociais e ambientais da agroindústria canavieira, no Brasil, no Paraná e em Paracity-PR; e, num segundo momento, discutem-se questões relacionadas às inovações tecnológicas e perspectivas para o mercado do etanol.

2.1 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

O Brasil é considerado um dos países mais avançado do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do etanol combustível, juntamente com os EUA e, em menor escala, seguidos pela Argentina, Quênia, Malawi e outros (GAZZONI, 2006).

Segundo Vilela e Araújo (2006) e Paulillo *et al* (2006) *apud* Shikida *et al* (2009), o setor sucroalcooleiro brasileiro é um dos poucos a apresentarem, na atualidade, grande expressividade social e econômica. Isto pode ser traduzido pela quantidade de empregos gerados pelo setor e principalmente pelo seu grande potencial de crescimento em face da possibilidade de um mercado internacional do etanol, tendo em vista os elevados preços do petróleo e as exigências ambientais traduzidas nas regulamentações do Protocolo de Kyoto.

O Balanço Energético Nacional (BEN) aponta que a cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia primária do Brasil, com 19,3% de participação na matriz energética atual, considerando-se o etanol combustível e demais produtos derivados (BRASIL, 2011).

De acordo com o Ministério das Relações Exteriores (MRE) do Brasil, a experiência brasileira com a utilização do etanol combustível como aditivo à gasolina remonta à década de 1920. Porém, foi somente a partir de 1931 que o combustível produzido a partir da cana-de-açúcar passou a ser oficialmente adicionado à gasolina, então importada. Apesar dessas iniciativas iniciais, entretanto, foi apenas em 1975, com o lançamento do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que o Governo criou as condições necessárias para que o setor sucroalcooleiro brasileiro se tornasse, três décadas mais tarde, um dos mais modernos do mundo, tendo

alcançado significativos resultados tanto ambientais quanto econômicos. Nos últimos trinta anos, o uso do etanol, em substituição à gasolina, promoveu uma economia de mais de 1 bilhão de barris equivalentes de petróleo, o que corresponde a cerca de 22 meses da produção atual de petróleo no Brasil (2009b).

O desenvolvimento da engenharia nacional, após o segundo choque do petróleo, em 1979, permitiu o surgimento de motores especialmente desenvolvidos para funcionar com etanol hidratado. Em 1984, os carros a etanol passaram a responder por 94,4% da produção das montadoras instaladas no Brasil (UNICA, 2011).

Desde 1986, a redução do impacto da crise do petróleo e os planos econômicos internos para combater a inflação estimularam uma curva descendente na produção de carros a etanol, que culminou com a crise de abastecimento de 1989. A queda da demanda do etanol hidratado foi compensada pelo maior uso do anidro (sem água) misturado à gasolina, o que acompanhou o crescimento da frota brasileira de veículos leves (UNICA, 2011).

Em março de 2003, foi lançado o carro *flex-fuel*, movido a etanol, gasolina ou com qualquer mistura entre os dois, iniciando uma nova onda de crescimento do setor. Além disso, o aumento da preocupação com a disponibilidade e preço dos combustíveis fósseis e as preocupações com o meio ambiente e o aquecimento global têm tornado o etanol uma alternativa renovável de combustível para o Brasil e o mundo (UNICA, 2011).

Ramão *et al* (2007) afirma que o agronegócio canavieiro é responsável pela movimentação de aproximadamente R\$ 40 bilhões por ano, o equivalente a 2,35% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

Dados do Jornal da Cana (2011) apontam que na safra 2009/2010 a agroindústria canavieira gerou cerca de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos; R\$ 14 bilhões em tributos e foi responsável por investimentos na ordem de R\$ 8 bilhões.

Em termos da produção mundial de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas, o Brasil é o maior produtor (649; 37,23%), seguido por Índia (348; 19,97%), China (125; 7,17%), Tailândia (74; 4,25%) e México (51; 2,93%), conforme Tabela 1, *ranking* de 2008.

Tabela 1 – Principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas, 2000-2008

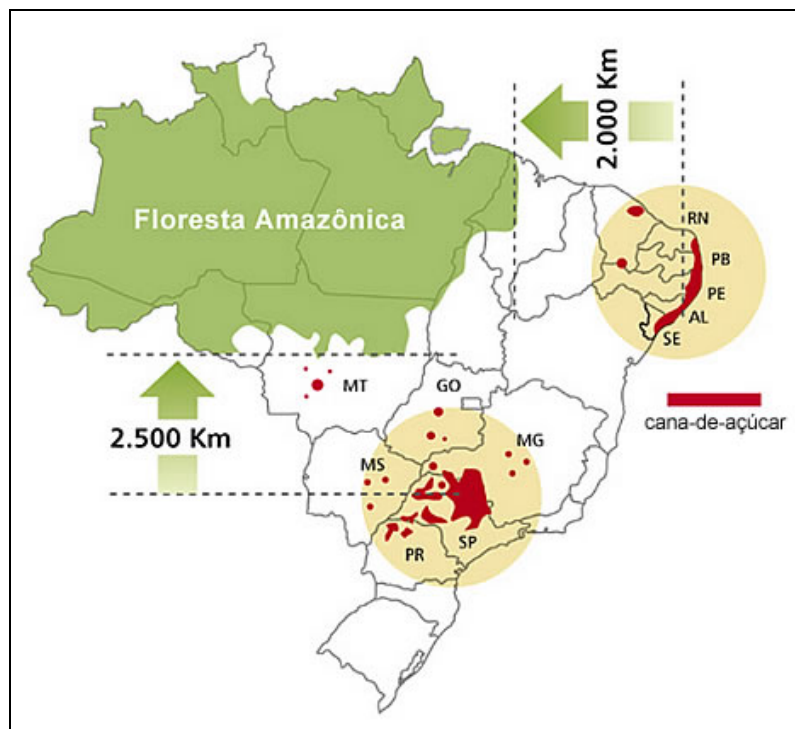
País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Brasil	328	346	364	396	415	423	457	514	649
Índia	299	296	297	287	234	237	281	356	348
China	69	78	92	92	91	88	100	106	125
Tailândia	54	50	60	74	65	50	48	64	74
México	44	47	46	47	49	52	51	51	51
Mundo	1.253	1.261	1.331	1.376	1.336	1.317	1.389	1.558	1.743

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2010)

A cana-de-açúcar ocupa cerca de 7 milhões de hectares ou cerca de 2% de toda a terra arável do País. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo (UNICA, 2011).

A produção de cana-de-açúcar concentra-se nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil. A Figura 2 mostra as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, segundo dados oficiais do IBGE, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP-SP) e do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC).

Figura 2 – Setor sucroenergético - mapa da produção (2010)



Fonte: NIPE-Unicamp, IBGE e CTC, elaborado pela UNICA (2010)

Em termos de informações técnicas da cultura da cana-de-açúcar, no Brasil, segundo o Anuário Estatístico de Agroenergia (2011), o ciclo é de 5 anos, com 5 cortes, produtividade média de 85 toneladas por hectare, produção média de 138 kg/toneladas de açúcar e 82 litros/toneladas de álcool (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações técnicas da cultura da cana-de-açúcar, Brasil, 2010

ITEM	DADOS
Ciclo de cana-de-açúcar	5 anos
Número médio de cortes	5 cortes
Produtividade de cana-de-açúcar	85 ton/ha
Rendimento de açúcar	138 kg/t
Rendimento de álcool	82 l/t
Cultivares registrados no Mapa	119 (<i>Saccharum L.</i>)

Fonte: Anuário estatístico de agroenergia - Brasil (2010b)

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, no período 2000 a 2009, evidencia uma expansão na área colhida (mil hectares), na produção (mil toneladas) e na produtividade média (kg/ha), conforme Tabela 3. Entre 2000 e 2009 a produtividade média teve uma variação de 18,86%, como reflexo dos investimentos realizados pelo setor. Em razão da seca que atingiu o Centro-Sul do país durante a safra 2010/11, percebe-se uma pequena queda em 2010 na disponibilidade da cana (Tabela 3), em função da menor área plantada, porém, aumento na produtividade.

Tabela 3 – Lavoura da cana-de-açúcar, ano civil, Brasil, 2000-2010

Ano	Área em milhões de hectares		Produção em milhões de toneladas	Rendimento em t/ha
	Área Plantada	Área Colhida		
2000	4,82	4,82	325,33	67,51
2001	5,02	4,96	344,28	69,44
2002	5,21	5,10	363,72	71,31
2003	5,38	5,37	389,85	72,58
2004	5,57	5,63	416,26	73,88
2005	5,62	5,76	419,56	72,83
2006	7,04	6,19	457,98	74,05
2007	7,89	6,69	515,82	77,05
2008	8,92	7,60	589,22	77,52
2009	9,67	8,60	689,90	80,24
2010	9,37	8,06	560,60	80,96

Fonte: IBGE (2011)

Como demonstrado na Tabela 4, a cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras entre as safras 04/05 e 10/11 evoluiu 56%. Do total processado, as regiões Centro-Sul responderam por 89,7%, com destaque para o Estado de São

Paulo, que foi o responsável por 57,5% do processamento nacional, seguido pelos Estados de Minas Gerais (8,8%), Goiás (7,7%), o Paraná (7%) e o Mato Grosso do Sul (5,5%), conforme *ranking* 2010/11.

Considerando uma tendência recente, a contar da safra 2010/11, nota-se uma importante mudança espacial referente à elevação da representatividade de regiões onde o cultivo canavieiro não apresentava destaque, como em Minas Gerais (que passa a ser o 2º representante nacional neste quesito), Goiás (que passa a ser o 3º) e Mato Grosso do Sul (5º).

Tabela 4 – Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras, safras 2004/05 – 2010/11, em toneladas

ESTADOS/SAFRA	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	10/11
São Paulo	230.280.444	243.767.347	263.870.142	296.242.813	346.292.969	359.235.500
Minas Gerais	21.649.744	24.543.456	29.034.195	35.723.246	42.480.968	55.198.100
Goiás	14.006.057	14.559.760	16.140.043	21.082.011	29.486.508	47.980.800
Paraná	28.997.547	24.808.908	31.994.581	40.369.063	44.829.652	43.905.200
Mato Grosso do Sul	9.700.048	9.037.918	11.635.096	14.869.066	18.090.388	34.333.200
Alagoas	26.029.770	22.532.291	23.635.100	29.444.208	27.309.285	26.752.800
Pernambuco	16.684.867	13.858.319	15.293.700	19.844.415	18.949.518	18.783.800
Mato Grosso	14.447.155	12.335.471	13.179.510	14.928.015	15.283.134	13.835.100
Paraíba	5.474.229	4.291.473	5.107.700	5.653.047	5.885.978	5.349.900
Espírito Santo	3.900.307	3.804.231	2.894.421	3.938.757	4.373.248	3.484.000
Bahia	2.268.369	2.391.415	2.185.600	2.522.923	2.541.816	3.259.200
R. G. Norte	2.917.677	2.356.268	2.397.400	2.047.750	3.186.768	2.994.200
Rio de Janeiro	5.638.063	4.799.351	3.445.154	3.831.652	4.018.840	2.643.500
Maranhão	1.275.119	1.797.490	1.660.300	2.134.604	2.280.160	2.551.700
Sergipe	1.465.185	1.109.052	1.136.100	1.371.683	1.831.714	2.200.900
Piauí	349.329	492.369	706.000	689.130	900.181	836.900
Pará	580.999	510.086	697.400	575.525	626.865	540.000
Tocantins	-	95.314	179.300	-	55.456	348.000
Amazonas	267.767	252.672	224.700	318.141	303.350	345.700
Ceará	79.444	40.709	27.400	8.250	122.355	180.400
Rondônia	-	-	-	-	106.292	146.500
R. G. Sul	77.997	57.976	91.919	128.980	107.184	85.600
CENTRO-SUL	330.965.731	340.105.833	374.470.661	433.636.526	507.504.707	560.701.000
NORTE-NORDESTE	55.124.386	47.336.043	51.065.100	62.086.753	61.557.922	64.290.000
BRASIL	386.090.117	387.441.876	425.535.761	495.723.279	569.062.629	624.991.000

Fonte: UNICA (2011)

* *Ranking* pela safra 2010/11

Shikida (2012) argumenta que essas mudanças são explicadas pela elevação dos custos da terra; pela relativa saturação das áreas disponíveis em regiões tradicionalmente produtoras; pelos benefícios fiscais, sobretudo em novas

fronteiras; pela desregulamentação (maximizando este movimento migratório); e em razão das áreas contíguas às tradicionais regiões produtoras de cana apresentarem atrativos edafo-climáticos que permitem desenvolver sistemas produtivos similares aos existentes em regiões tradicionais, que levam inclusive o conhecimento, as experiências técnicas-comerciais e o aparato tecnológico moderno para as novas áreas.

Em que pese essas mudanças, conforme evidenciado pela Tabela 5, em termos médios, entre as safras 2004/05 e 2010/11, São Paulo segue líder absoluto com participação de 60,22% no processamento total da cana-de-açúcar. Outros Estados com significativa participação são: Paraná (7,44%), Minas Gerais (7,22%), Alagoas (5,39%) e Goiás (4,96%).

Tabela 5 – Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras, média entre as safras 2004/05 – 2010/11

Estados	Toneladas	Participação Relativa (%)
1. São Paulo	289.948.203	60,22
2. Paraná	35.817.492	7,44
3. Minas Gerais	34.771.618	7,22
4. Alagoas	25.950.576	5,39
5. Goiás	23.875.863	4,96
6. Pernambuco	17.235.770	3,58
7. Mato Grosso do Sul	16.277.619	3,38
8. Mato Grosso	14.001.398	2,91
9. Paraíba	5.293.721	1,10
10. Rio de Janeiro	4.062.760	0,84
Outros	14.379.861	2,99
CENTRO-SUL	424.564.076	88,18
NORTE-NORDESTE	56.910.034	11,82
BRASIL	481.474.110	100,00

Fonte: UNICA (2011)

Com o fim da regulamentação governamental, iniciou-se o regime de livre mercado, sem subsídios, com os preços do açúcar e etanol passando a ser definidos conforme as oscilações de oferta e demanda. Assim, os preços da cana passaram a depender de sua qualidade e da sua participação porcentual nos produtos finais.

Para gerenciar e equilibrar produção e demandas setoriais, a iniciativa privada tem procurado criar instrumentos de mercado, como operações futuras, e desenvolver novas oportunidades para o açúcar e etanol, por meio da queda das

barreiras protecionistas e do empenho em transformar o etanol numa ‘commodity’ ambiental.

Moraes (2002) destaca que o afastamento do Estado e a complexidade existente na cadeia produtiva da cana-de-açúcar evidenciam algumas questões relevantes, como a nova forma de atuação do poder público e dos agentes privados em ambiente de livre mercado. Em relação às novas oportunidades para o setor – co-geração de energia elétrica e mercado de carbono, é preciso identificar as mudanças institucionais necessárias para induzir os investimentos do setor privado.

Em relação à produção brasileira de etanol, conforme Tabela 6, entre as safras 04/05-10/11 houve uma evolução de 85,79%, com redução na safra seguinte, por fatores climáticos verificados em 2010.

Pelo *ranking* 2010/11, destacam-se os seguintes Estados produtores de etanol: São Paulo, com participação de 54,26%, Goiás (11,61%), Minas Gerais (10,33%), Mato Grosso do Sul (7,39%) e Paraná (6,98%).

Tabela 6 – Produção brasileira de etanol total, 2003/04-2010/11 (mil litros)

ESTADOS/SAFRA	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	10/11
São Paulo	3.791.387	4.827.784	5.645.705	8.408.728	10.715.759	10.630.272
Goiás	356.709	353.244	439.094	749.740	1.231.019	2.275.605
Minas Gerais	446.441	562.317	690.590	1.199.765	1.590.092	2.024.253
Mato Grosso do Sul	326.403	311.251	433.690	662.562	862.264	1.448.651
Paraná	784.997	692.703	892.264	1.480.184	1.630.343	1.368.497
Mato Grosso	371.547	474.501	443.601	512.247	587.794	580.367
Alagoas	410.716	333.712	333.512	469.674	492.003	381.083
Pernambuco	135.919	120.957	118.349	291.912	300.493	203.997
Paraíba	181.275	158.819	178.685	192.832	216.771	147.142
Sergipe	36.113	28.634	22.590	19.006	68.553	101.083
Espírito Santo	80.929	68.513	53.540	77.384	139.946	92.735
Bahia	17.920	19.128	28.638	54.544	53.027	90.323
Rio de Janeiro	101.644	84.601	58.026	93.320	91.009	83.116
R. G. Norte	41.354	22.838	24.466	39.632	68.625	49.985
Maranhão	8.715	22.287	20.570	47.119	60.441	36.445
Tocantins	0	110	2.125	0	1.676	28.395
Pará	6.175	8.194	9.120	9.528	25.257	13.970
Ceará	153	1.022	1.002	571	8.625	12.746
Rondônia	4.823	3.338	5.686	6.818	6.318	12.127
Amazonas	4.671	6.009	5.650	8.264	7.963	8.797
R. G. Sul	0	0	0	0	7.224	5.668
Piauí	4.327	8.486	11.299	9.525	11.417	2.465
CENTRO-SUL	13.591.355	14.352.542	16.006.345	20.333.466	25.101.963	18.503.497
NORTE-NORDESTE	1.825.313	1.594.452	1.712.864	2.193.358	2.410.999	1.088.559
BRASIL	15.416.668	15.946.994	17.719.209	22.526.824	27.512.962	19.592.056

Fonte: UNICA (2011)

* *Ranking* pela safra 2010/11

Entre 1998 e 2010, o Brasil transforma-se da condição de importador para exportador líquido de etanol. Dados da Tabela 7 mostram que as exportações anuais de etanol, pelo Brasil, no período 2000-2008, teve uma evolução exponencial de 1.351,98% no volume (milhões de litros) exportado. No entanto, a partir de 2009 o volume exportado apresenta tendência de queda, tendo em vista o câmbio desfavorável que dificultou a realização de negócios. Deve-se destacar que a demanda interna por etanol continuou aquecida. Mesmo com a queda nas exportações, em 2010, verifica-se uma melhora na competitividade, medida pelo preço médio.

Tabela 7 – Exportações anuais de etanol pelo Brasil, ano civil, período 2000-2010

Ano	Volume em Mil m³	Valor em milhões de US\$	Preço médio em US\$/m³
2000	227	34,8	153,1
2001	346	92,1	266,6
2002	759	169,2	222,9
2003	656	158,0	240,7
2004	2.321	497,7	214,4
2005	2.592	765,5	295,3
2006	3.429	1.605,0	468,1
2007	3.512	1.467,3	417,8
2008	5.124	2.390,1	466,5
2009	3.296	1.338,0	405,9
2010	1.900	1.014,0	546,78

Fonte: MDIC/SECEX (2011)

Os principais países de destino das exportações brasileiras, considerando a média do período 2006-2010, são respectivamente: Estados Unidos (26,76%), Países Baixos (19,53%), Jamaica (8,28%), Japão (7,94%), El Salvador (6,06%) e Coréia do Sul (5,78%), que somados representam 74,35% do total exportado (Tabela 8).

Tabela 8 – Exportações brasileiras de etanol por país de destino, média, 2006-2010

PAÍS	VOLUME	PARTICIPAÇÃO
	(milhões de litros)	(%)
1. Estados Unidos	924,30	26,76
2. Países Baixos	674,46	19,53
3. Jamaica	285,94	8,28
4. Japão	274,08	7,94
5. El Salvador	209,33	6,06
6. Coréia do Sul	199,68	5,78
7. Índia	126,53	3,66
8. Trinidad e Tobago	121,02	3,50
9. Costa Rica	118,75	3,44
10. Nigéria	93,64	2,71
11. Reino Unido	91,68	2,65
12. México	48,16	1,39
13. Suíça	29,58	0,86
14. Finlândia	29,40	0,85
15. Emirados Árabes	22,47	0,65
16. Gana	18,56	0,54
17. Porto Rico	17,94	0,52
18. Filipinas	16,28	0,47
19. Angola	9,50	0,28
20. Cingapura	9,28	0,27
21. Austrália	9,13	0,26
22. Colômbia	6,60	0,19
Outros	53,97	1,56
Total	3.454	100

Fonte: UNICA (2011)

Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2011) apontam que, em 2000, os automóveis e comerciais leves licenciados no Brasil movidos a etanol e *flex fuel*, representavam 0,78% do total (10.292 unidades), evoluindo para 92,97% do total (2.652.368 unidades), em 2009, demonstrando uma trajetória exponencial (Tabela 9). Em 2010 a proporção reduziu-se para 80%.

Esses dados comprovam que a tecnologia do *flex fuel* tem dominado o mercado brasileiro de automóveis e comerciais leves, pois permite ao consumidor final escolher qual o energético mais razoável segundo uma relação de custo/benefício, ou mesmo de não ficar vulnerável à escassez de oferta contando com essa opção de combustível.

Tabela 9 – Brasil, licenciamento de automóveis e comerciais leves por tipo de combustível, 2000-2010

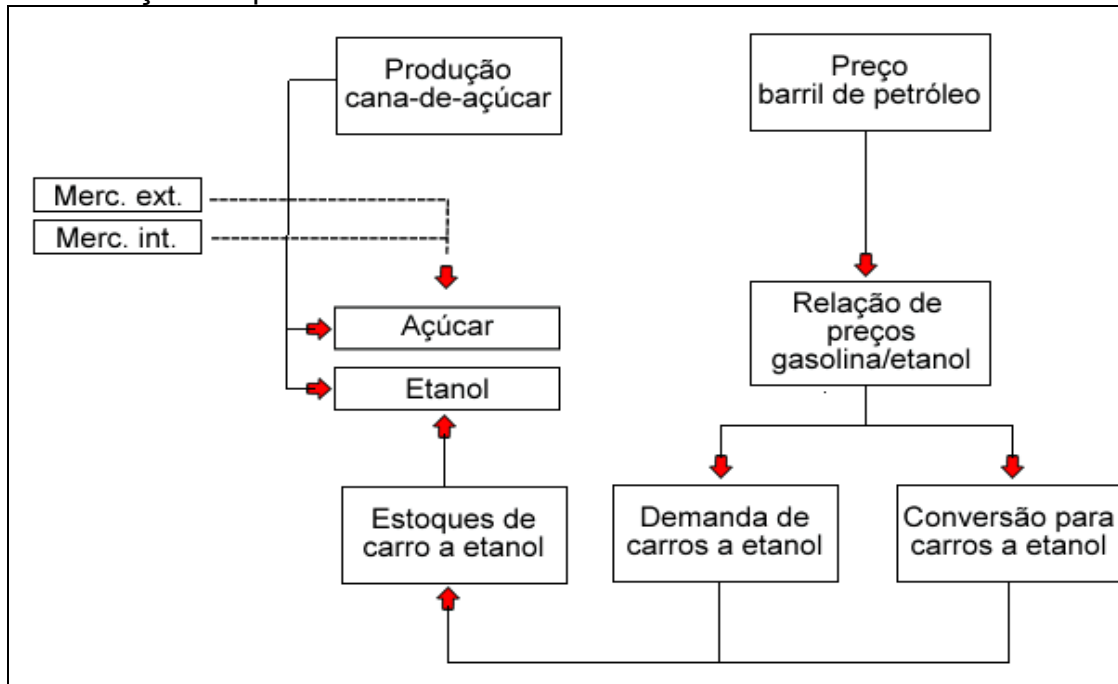
Anos	Automóveis e Comerciais Leves			Total	% Etanol e Flex-Fuel sobre o Total
	Gasolina	Etanol	Flex-Fuel		
2000	1.310.479	10.292	-	1.320.771	0,78
2001	1.412.420	18.335	-	1.430.755	1,28
2002	1.283.963	55.961	-	1.339.924	4,18
2003	1.152.463	36.380	48.178	1.237.021	6,84
2004•	1.077.945	50.949	328.379	1.457.273	26,03
2005	697.004	32.357	812.104	1.541.465	54,78
2006	316.561	1.863	1.430.334	1.748.758	81,90
2007	245.660	107	2.003.090	2.248.857	89,08
2008	217.021	84	2.329.247	2.546.352	91,48
2009	221.709	70	2.652.298	2.874.077	92,29
2010	660.182	-	2.625.092	3.285.274	80,00

Fonte: ANFAVEA (2010)

Em que pese o aumento na produção e produtividade verificadas nas últimas décadas, bem como a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, Dias *et al* (2002), argumentam que existe um descasamento estrutural entre demanda e oferta de etanol. A demanda por etanol é função da relação entre o preço da gasolina e o do etanol. Em outras palavras, existe um ponto na curva determinada pelo preço da gasolina/preço do etanol a partir do qual o consumidor opta por utilizar etanol.

Segundo esses autores, a oferta de etanol, por sua vez, é função da relação de preços do açúcar e do etanol. Em outras palavras, existe um ponto na curva determinada pelo preço do açúcar/preço do etanol a partir do qual o produtor opta por produzir etanol. A Figura 3 sintetiza as relações existentes entre os mercados de etanol, açúcar e petróleo.

Figura 3 – Fluxograma das relações existentes entre os mercados de etanol, açúcar e petróleo



Fonte: Adaptado de Dias *et al* (2002)

Por conta desse descasamento, seria necessária alguma forma de regulação da produção e comercialização, de sorte a ajustar a oferta à demanda de etanol, conferindo segurança ao consumidor quanto ao abastecimento interno, sendo um problema central a ser resolvido (DIAS *et al*, 2002).

2.1.1 A Agroindústria Canavieira Paranaense

Segundo Andrade (1994), apesar do pioneirismo de Morretes, no século XVII, na produção da cana-de-açúcar, somente a partir dos anos 1940 ocorre a expansão produtiva, com destaque para o Norte do Estado. Kaefer e Shikida (2000) apontam que essa expansão canavieira no Estado do Paraná deve-se à centralização da produção na região Centro-Sul do país, com destaque para São Paulo e que gera um “transbordamento” da atividade para Minas Gerais e Paraná.

Para Carvalheiro (2005), parte da produção agroindustrial canavieira paranaense tem sua origem em cooperativas produtoras e beneficiadoras de café que devido a dificuldades enfrentadas pelo setor cafeeiro, precisaram diversificar sua produção. De 1975 a 1995, o Proálcool representou uma importante ferramenta de

incentivo à implantação de parques industriais para a produção de etanol combustível.

No decorrer dos anos 1990, o setor passa por transformações, como o processo de desregulamentação, extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e o enfraquecimento do Proálcool (MORAES, 2002).

De acordo com Shikida e Vian (2010), os impactos gerados pela desregulamentação do setor no processo de desenvolvimento da agroindústria paranaense afetam positivamente a produção de cana, etanol e açúcar. Segundo informações do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde a safra 2003/04, o Estado do Paraná ultrapassou Alagoas e tornou-se o segundo maior produtor de cana-de-açúcar, nos quesitos área, produção e derivados da cana-de-açúcar, posição mantida até a safra 2008/09, caindo para a quarta posição no *ranking* nacional, na safra 2010/11, apesar de ainda manter-se no segundo lugar ao se considerar a média da última década.

Percebe-se que a expressividade da cultura canavieira no âmbito nacional e regional é capaz de impactar de forma muito significativa na dinâmica econômica. Nessa perspectiva, observa-se na Tabela 10, que da safra 1991/92 para a safra 2009/10 houve um incremento de 219,22% na área de cultivo; 299,75% na cana moída; 930,08% na produção de açúcar; 242,99% na produção de etanol anidro; 140,95% na produção de etanol hidratado; e 155,77% na produção de etanol total.

Tabela 10 – Produção da agroindústria canavieira no Paraná, safras 1991/92-2010/11

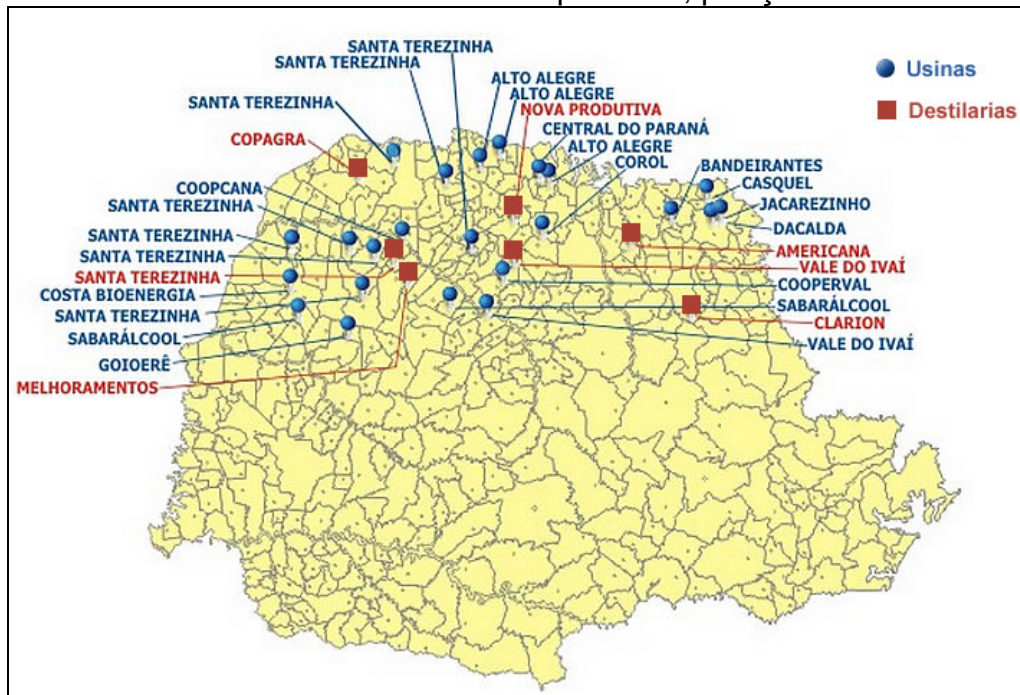
Safras	Área de Cana (hectares)	Cana Moída (toneladas)	Açúcar (toneladas)	Etanol m ³		
				Anidro	Hidratado	Total
91/92	179.684	11.401.098	235.827	107.369	629.608	736.977
92/93	180.850	11.989.326	232.776	97.024	635.347	732.371
93/94	191.314	12.475.268	305.148	67.250	663.449	730.699
94/95	202.203	15.531.485	430.990	77.612	809.180	886.792
95/96	236.511	18.596.119	555.842	99.099	979.613	1.078.712
96/97	273.679	22.258.512	789.858	199.998	1.047.023	1.247.021
97/98	313.928	25.035.471	973.718	425.002	915.756	1.340.758
98/99	315.819	24.524.685	1.261.913	366.185	673.197	1.039.382
99/00	313.052	24.537.742	1.430.202	432.412	604.034	1.036.446
00/01	293.633	19.416.206	996.542	262.429	536.839	799.268
01/02	296.077	23.120.054	1.367.066	367.141	593.071	960.212
02/03	319.781	23.990.528	1.481.723	409.082	568.489	977.571
03/04	332.123	28.508.496	1.854.528	488.210	736.037	1.224.247
04/05	356.377	29.059.588	1.814.525	419.418	794.445	1.213.863
05/06	363.843	24.809.178	1.503.421	347.368	692.463	1.039.831
06/07	403.741	31.994.580	2.178.076	427.754	892.729	1.320.483
07/08	486.127	40.369.063	2.509.288	370.350	1.488.203	1.858.553
08/09	536.275	44.829.652	2.459.512	432.775	1.618.640	2.051.415
09/10	573.583	45.578.529	2.430.692	367.385	1.517.736	1.885.121
10/11	586.423	43.320.724	3.022.089	271.770	1.347.567	1.619.337

Fonte: ALCOPAR (2011)

Ao longo do período analisado, constata-se que a produção do etanol hidratado em termos absoluto e relativo, supera a evolução da produção do etanol anidro, haja vista o aumento da frota de veículos *flex fuel* e das exportações do etanol hidratado.

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas produzidos no Estado do Paraná, desenvolvendo-se essencialmente na Região Noroeste, que apresenta condições edafo-climáticas favoráveis e uma associação espacial positiva entre a presença da agroindústria canavieira nessa região e o desenvolvimento local dos municípios (Anhesini, 2011). Na Figura 4 pode-se identificar que a agroindústria canavieira paranaense possui 30 unidades produtoras de açúcar e álcool, com raio de abrangência econômica de aproximadamente 126 municípios e geram 74 mil empregos diretos (ALCOPAR, 2011).

Figura 4 – Usinas e destilarias filiadas a Alcopar – PR, posição de outubro 2011



Fonte: ALCOPAR (2011)

Com o objetivo de prestar serviços à agroindústria de bioenergia, em todas as suas formas, entre elas o acompanhamento a estudos e pesquisas, visando o aprimoramento técnico da produção de bioenergia; assistência técnica, jurídica e econômica foi fundada em 13 de julho de 1981, a Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná (ALCOPAR) ². No raio de abrangência da ALCOPAR há 30 unidades produtoras situadas no Estado do Paraná, entre elas, 28 são associadas à ALCOPAR.

2.1.2 A Importância da Unidade Paranaicity do Grupo Santa Terezinha para o Município de Paranaicity-PR

Fundado em 4 de dezembro de 1955, o município de Paranaicity localiza-se na região Noroeste do Estado do Paraná, possuindo 10.250 habitantes e um grau de urbanização de 92,38% (IBGE, 2010).

² A Sede da ALCOPAR está situada na Av. Carneiro Leão, 135 – 9º andar, salas 903/904, na cidade de Maringá - PR

Em termos de Desenvolvimento Humano³, o indicador que mede o nível da qualidade de vida da população, o Índice Iparades de Desempenho Municipal (IPDM) registrou 0,7210 para o ano de 2008 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) atingiu 0,742 para o ano 2000, que é classificado como médio desenvolvimento humano.

A economia do município está baseada na agroindústria canvieira (produção de açúcar e etanol), agropecuária (produção de mandioca, bovinos, galináceos e suínos), comércio e serviços. O Produto Interno Bruto a preços correntes de 2009 foi R\$ 140,6 milhões (IPARDES, 2011), sendo 21% representados pela agropecuária, 36% pela indústria e 43% pelo comércio e serviços.

No que se refere aos tributos de competência estadual com repasses ao município, conforme Tabela 11, observa-se uma evolução irregular no período 2005/2011, com média de 5,70% na variação do total líquido, sendo o Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços (ICMS) o principal tributo, seguido pelo Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e pelo Fundo de Exportação.

Tabela 11 – Repasses Tributários Estaduais ao Município de Paranaity-PR, período 2005 a 2011

Ano	ICMS Bruto	ICMS Líquido	Fundo de Exportação	IPVA	Total Líquido	Variação %
2005	2.517.615,86	2.070.205,08	65.448,53	140.893,75	2.279.022,17	-
2006	2.886.445,49	2.434.596,44	73.410,54	169.942,21	2.679.913,86	17,59
2007	2.479.233,13	2.066.193,12	66.852,01	223.460,56	2.357.655,48	-12,03
2008	2.723.093,40	2.224.053,68	72.360,65	307.712,46	2.605.436,60	10,51
2009	3.024.247,61	2.419.398,32	50.969,03	356.143,30	2.826.531,20	8,49
2010	3.015.257,92	2.412.206,55	55.583,56	279.201,75	2.746.991,80	-2,8
2011	3.228.229,38	2.582.583,71	54.331,27	452.301,20	3.089.216,18	12,46
Média	2.839.160,40	2.315.605,27	62.707,94	275.665,03	2.654.966,76	5,70

Fonte: Secretaria de Fazenda do Estado do Paraná (SEFA, 2011).

³ O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) varia de zero (nenhum desenvolvimento humano) a um (desenvolvimento humano total). Países com IDH até 0,499 têm desenvolvimento humano considerado baixo, os países com índices entre 0,500 e 0,799 são considerados de médio desenvolvimento humano e países com IDH superior a 0,800 têm desenvolvimento humano considerado alto.

Analisando a produção da cana-de-açúcar e derivados, pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, percebe-se na Tabela 12, que a produção tem tendência de crescimento até 2007, reduzindo-se em 2008 e 2009, e voltando a crescer em 2010. Na média, 75% da cana processada são destinadas à produção de açúcar VHP⁴ e 25% à produção do etanol hidratado.

Tabela 12 – Informações de produção, Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, período 2005 a 2010

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Cana processada (t)	1.444.540	1.922.111	2.171.539	2.160.000	1.763.063	2.749.993
Açúcar VHP	77,59%	77,09%	76,14%	71%	71,11%	73,50%
Etanol Hidratado	22,41%	22,91%	23,86%	29%	28,89%	26,50%
Colheita Manual	100%	100%	100%	80%	80%	60%
Colheita Mecanizada	-	-	-	20%	20%	40%

Fonte: Usacucar (2011)

Para atender a legislação, a partir de 2008 introduziu-se a colheita mecanizada, na proporção de 20% do total, cuja tendência natural é de elevação gradativa até que a mesma represente 100% da cana-de-açúcar colhida.

Dados da Tabela 13 indicam que cerca de 40% do pessoal ocupado em Paranacity-PR, trabalha na unidade local do Grupo Santa Terezinha, evidenciando o vigor econômico e social dessa unidade agroindustrial na geração de emprego e renda, contribuição para a formação do PIB municipal e para a arrecadação tributária.

Tabela 13 – Evolução do Mercado de Trabalho, Paranacity-PR, período 2006 a 2010

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	Média
Funcionários Usacucar	2.800	2.900	3.450	3.500	3.550	3.240
- Residentes em Paranacity (A)	1.428	1.479	1.759	1.785	1.810	1.652
- Residentes na região	1.372	1.421	1.691	1.715	1.740	1.588
Pessoal Ocupado (B)	3.593	4.066	4.124	4.255	4.310	4.070
Unidades Locais	188	187	174	248	214	202
Proporção percentual (A) / (B)	39,7	36,4	42,7	42,0	42,0	40,6

Fonte: IBGE, Estatísticas do Cadastro Central de Empresas (2011) e Usacucar (2011)

⁴ O *Very High Polarization* (VHP), por ser menos úmido (max 0,10%), é ideal para exportação, pois facilita o transporte. Toda sua produção é destinada ao mercado externo para o refino em outros países devido sua alta polarização (99,0 a 99,5° Z) (USACUCAR, 2011).

Este item procurou demonstrar a importância econômica, social e ambiental da agroindústria canvieira para as economias brasileira e paranaense, e especificamente, a relevância da unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha para o município de Paranacity-PR.

A próxima seção abordará as inovações tecnológicas nos quesitos agrícola e industrial da cultura canvieira e as perspectivas para o mercado do etanol.

2.2 NOVAS TECNOLOGIAS E PERSPECTIVAS PARA O MERCADO DO ETANOL

Segundo Szmrecsányi (2002a), quando se fala de inovação tecnológica geralmente pensa-se em Schumpeter, porém, cumpre distinguir as posições da juventude de Schumpeter, refletidas nos livros que publicou em alemão antes da Primeira Guerra Mundial, das suas obras de maturidade, escritas em inglês e posteriores à sua mudança para os Estados Unidos no início da década de 1930. O trabalho mais conhecido (e mais citado) da primeira fase é a sua *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, livro originalmente publicado em 1912. Já na segunda fase, a obra mais importante sobre a mesma temática é o *Business Cycles*, de 1939, e no qual Schumpeter retomou e aprofundou suas ideias anteriores, mudando seu enfoque do empresário inovador para o processo de inovação propriamente dito.

Para Freeman (1984), Schumpeter justificou com argumentos sua visão de que a inovação técnica estaria mais próxima de uma série de explosões do que de uma transformação suave e continuada. Em primeiro lugar, ele argumentou que em nenhum momento as inovações estão aleatoriamente distribuídas através de todo sistema econômico, mas que tendem a concentrar-se em determinados setores-chave e ao seu redor, e que conseqüentemente elas são por natureza desequilibradas e desarmoniosas. Em segundo lugar, ele sustentou que o processo de difusão era inerentemente um processo desigual, porque primeiro umas poucas firmas, e depois muitas delas, seguem na onda dos pioneiros bem-sucedidos.

Ainda segundo Freeman (1984), na teoria de Schumpeter, a capacidade e a iniciativa dos empresários, apoiadas nas descobertas de cientistas e inventores, criam oportunidades totalmente novas para investimentos, crescimento e emprego.

De acordo com Cechin e Veiga (2010), como um bom discípulo de Schumpeter, Georgescu-Roegen considerou o processo econômico irreversível assim como a evolução biológica, e o motor dessa evolução como sendo as inovações radicais. Tal qual Schumpeter, sua visão era de que as inovações não são sucessivas pequenas mudanças, quase imperceptíveis, mas saltos que levam a emergência de uma nova entidade.

Nesse sentido, a inovação é um objetivo relevante da política industrial, na medida em que as empresas que inovam oferecem uma contribuição para o desenvolvimento econômico maior do que as que não inovam. Tanto em outros países como no Brasil, as empresas e setores inovadores crescem mais e são mais bem sucedidos do que os que não inovam – Mastrostefano e Pianta (2004); Arbache (2005) e De Negri (2005); *apud* Prochnik e Araújo (2005). Porém, a taxa de inovação brasileira é vista como muito baixa e aumentá-la é o objetivo central da Política Industrial e Tecnológica.

No caso da agroindústria canavieira, Ramão *et al* (2007), afirmam que a partir de meados da década de 1990, com o afastamento do Estado e consequente desaceleração e crise do Proálcool, alguns produtores, que até então adotavam o paradigma subvencionista, passaram a aderir ao paradigma tecnológico como estratégia de sobrevivência no mercado e garantia de competitividade.

Segundo esses autores, esse processo realçou a evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil, implicando o surgimento de grupos mais capitalizados. Empresas menos preparadas tecnologicamente encerraram suas atividades e/ou foram incorporadas pelas mais dinâmicas. A adoção do paradigma tecnológico foi determinante para a sobrevivência e manutenção da competitividade das empresas, com destaque para as situadas na Região Centro-Sul, que apresentam o menor custo de produção do mundo.

De acordo com Rosenberg (1982), a dinâmica tecnológica, compreendida como um processo contínuo de adoção de inovações depende do acúmulo de conhecimento pelo processo de aprendizado, que pode ser do tipo *learning-by-using* (LBU) e *learning-by-doing* (LBD). Enquanto no primeiro caso (LBU) o aprendizado decorre mediante o uso e cujo enfoque concentra-se do lado do usuário, visando o uso mais eficiente do produto, no segundo caso (LBD) o aprendizado é obtido via processo produtivo, a partir da existência de “gargalos”

nesse processo, com enfoque no lado do produtor e implica no desenvolvimento crescente de habilidades nos estágios de produção.

Além das mudanças organizacionais, com a Lei n. 11.241, de 2002, foi estipulado que a queima da cana-de-açúcar deve encerrar-se gradativamente em território nacional até 2021, visando reduzir os impactos ambientais e os prejuízos à saúde pública ocasionados pela queima que antecede o corte da cana, prática considerada fundamental para a produtividade. Especificamente para as áreas não propícias ao corte mecanizado, assim como as com declive superior a 12%, terrenos pedregosos, entre outras, o prazo para extinção das queimadas é até 2031 (ALCOPAR, 2006).

Nesse cenário de crescimento e transformações, destaca-se a gradativa substituição da colheita manual pela colheita mecânica da cana-de-açúcar, justificada por aspectos ambientais e econômicos.

Veiga Filho e Santos (1995), afirmam que a intensificação da mecanização de todas as etapas do processo produtivo é uma tendência do padrão tecnológico do modelo de agricultura produtivista vigente na contemporaneidade. Soma-se a isso a ampliação do melhoramento genético e a depuração das relações sociais de trabalho.

O corte mecanizado ganha espaço na década de 1970, quando se desenvolvem as colheitadeiras que cortam, picam, limpam e carregam a cana em operações integradas. Porém, pode-se dizer que a mecanização da colheita da cana-de-açúcar no Brasil ganha maior impulso a partir da década de 1990 (VIEIRA; SIMON, 2005).

De acordo com Veiga Filho (1999), o processo de colheita mecanizado é constituído de três subsistemas: um de corte e carregamento; um de transporte; e outro de recepção. Esses subsistemas que compõem o novo arranjo técnico se relacionam entre si e estabelecem um fluxo da matéria-prima do campo à indústria, configurando-se numa estratégia de maximização do uso dos meios e instrumentos de trabalho, diminuindo bastante a ociosidade da usina, além de intensificar o ritmo de trabalho.

Estudos realizados pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba (SP), e publicado na revista científica *Global Change Biology Bioenergy*, concluíram que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar possibilita duplo ganho ambiental, resultando em

menor emissão de Gases de Efeito Estufa e na melhoria da qualidade do solo (AGUIAR, 2010).

Apesar dos benefícios econômicos e ambientais da colheita mecanizada, Paulillo *et al* (2006) ressaltam o custo social do desemprego de trabalhadores braçais. Argumentam que como a mecanização é irreversível, cabe ao Governo criar mecanismos como cursos de reciclagem e qualificação desses trabalhadores facilitando sua inserção em outras atividades, no meio rural e no meio urbano.

No bojo da revolução tecnológica, por meio da biotecnologia industrial, houve aumento da possibilidade de fracionar os produtos agropecuários em seus componentes fundamentais (carbo-hidratos, proteínas e lipídios), de processar esses componentes isoladamente e de recombiná-los de acordo com mecanismos e conveniências específicas:

As biotecnologias podem ser definidas como conjuntos de técnicas (citológicas e moleculares, genéticas e químicas) que possibilitam a manipulação e a transformação de seres vivos (por meio de seus microorganismos) para fins industriais e comerciais. Junto com a energia nuclear e a informática, a nova biotecnologia de nosso tempo, situada na confluência da biologia molecular e da moderna bioquímica, tem sido vista por alguns como a terceira, e mais recente, revolução científica e tecnológica do século XX. Sua importância econômica e social, proveniente do número e da diversidade de suas possíveis aplicações, já foi devidamente assimilada e incorporada por muitas empresas multinacionais, traduzindo-se, no mínimo, na consignação de muitos milhões de dólares à montagem e ao custeio de laboratórios especializados, bem como à execução de programas de pesquisa básica e aplicada no campo das biotecnologias (SZMRECSÁNYI, 2002b, p. 98).

As biotecnologias podem contribuir para a modernização tecnológica da agroindústria canavieira nos segmentos agrícola e industrial. No segmento agrícola pode-se destacar:

- a aceleração e aperfeiçoamento dos processos de criação e difusão de novas variedades que sejam mais produtivas, mais resistentes a doenças e pragas, e melhor ajustadas às necessidades da produção, tanto agrícola como industrial; e,
- o aumento da eficiência dos tratos culturais antes e depois das colheitas.

Goes *et al* (2009) afirmam que a cana-de-açúcar tornou-se um produto que alcançou novas práticas e novos manejos no trato do solo, que permitem a introdução de novas tecnologias e novas variedades adaptadas às várias regiões.

Szmrecsányi (2002b) aponta que, no segmento industrial, as principais possibilidades, de melhoria da produtividade e de redução de custos de produção, são:

- nas etapas do processamento do caldo, que é até hoje o derivado mais importante da cana;
- nas alternativas de aproveitamento do bagaço, que constitui o principal co-produto do referido processamento;
- nas alternativas de aproveitamento do melaço, quando o principal produto for o açúcar;
- nas alternativas de aproveitamento da vinhaça, quando o principal produto for o etanol; e,
- nas alternativas de aproveitamento dos demais resíduos e subprodutos.

Segundo Goes *et al* (2009), no Brasil, os programas de melhoramento genético que garantem o avanço tecnológico e a sustentabilidade da expansão da cana-de-açúcar são quatro:

- 1) Programa da Ridesa – A Rede Universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa), é integrada por dez universidades federais (Paraná, São Carlos, Viçosa, Rural do Rio de Janeiro, Sergipe, Alagoas, Rural de Pernambuco, Goiás, Mato Grosso e Piauí). É considerado o maior programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil;
- 2) Programa do CTC – O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), localizado em Piracicaba, SP, originário da Coopersucar – programa iniciado em 1968;
- 3) Programa do IAC – O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com programa restaurado e potencial ampliado; e
- 4) Programa da Canavialis – A Canavialis, ex-empresa do Grupo Votorantim, criada em 2003, adquirida pela Monsanto, desenvolve

um programa de melhoramento genético e se dedica a variedades transgênicas.

No que diz respeito ao pacote tecnológico, novas técnicas estão sendo introduzidas, especialmente na área de correção do solo e fertilização. A ferti-irrigação é uma prática cada vez mais usada e capaz de permitir aumento significativo nos níveis de produtividade da cana-de-açúcar. Essa prática usa a vinhaça, que é fonte de potássio (K), contém cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), manganês (Mn) e nitrogênio orgânico, e aproveita, também, a torta de filtro, rica em fósforo (P), possui umidade alta e concentração de matéria orgânica, utilizada em substituição completa ou parcial da adubação mineral (GOES *et al*, 2009).

O programa da Embrapa Agroenergia funciona por meio de uma rede de pesquisa nacional, constituída por oito centros de pesquisa, duas universidades, um instituto de pesquisa e seis usinas, envolvendo cerca de 100 pesquisadores. A Embrapa Monitoramento por Satélite, membro da rede, está desenvolvendo trabalhos de monitoramento da expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, onde a dinâmica do uso e da cobertura das terras tem sido associada a uma série de indicadores sociais e ambientais (DURÃES *et al*, 2008).

Considerando o desenvolvimento de novas tecnologias na área de biocombustível derivado da cana-de-açúcar, pode-se citar o caso do bioquerosene de aviação. Nos últimos anos a preocupação com o meio-ambiente tem levado cada vez mais empresas a criarem uma responsabilidade ambiental e envidar esforços para o desenvolvimento de energias renováveis e sustentáveis. Desta forma, empresas do setor de aviação têm investido em tecnologias para reduzir a emissão de gases poluentes gerados pelas aeronaves, por meio do apoio a projetos de pesquisa que estudam o desenvolvimento de bioquerosene a partir de fontes renováveis. Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2011), o setor de aviação representa 2% do total de emissões de CO₂ mundial.

Segundo Silveira (2011), está sendo desenvolvido pela *Amyris* (empresa de desenvolvimento de produtos renováveis) em parceria com a Azul Linhas Aéreas Brasileiras, a Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A (Embraer), a Boeing e a *General Electric* (indústria de motores), um bioquerosene a partir da cana-de-açúcar. O objetivo dessa rede de cooperação é produzir em grande escala esse bioquerosene, a partir de 2013. O primeiro teste será realizado em 2012 onde o

grupo pretende usar o biocombustível misturado ao querosene convencional em uma aeronave Embraer voando pela Azul Linhas Aéreas Brasileiras, durante a Rio+20 (SILVEIRA, 2011).

Quer na produção de etanol, quer na de açúcar, o principal co-produto resultante do processamento da cana é o bagaço (uma tonelada de cana moída gera aproximadamente 260 kg de bagaço), cujo potencial energético tem atraído crescente interesse nos últimos anos. Por causa dele, diversos especialistas passaram inclusive a encará-lo como um possível produto principal da cana-de-açúcar no futuro, vendo na mesma, não mais uma lavoura agroalimentar ou agroenergética, mas uma fonte privilegiada de biomassa para fins energéticos e outros, e propondo uma base tecnológica completamente diferente das atuais para sua exploração (SZMRECSÁNYI, 2002b).

Nessa ótica, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2001), iniciou em 2001 o processo de projetos específicos para a co-geração sucroalcooleira, colocando uma linha de financiamento com as seguintes condições:

- dotação inicial: R\$ 250 milhões aprovados em 23/05/2001;
- clientes: usinas de açúcar e etanol localizadas em qualquer região do país;
- custo financeiro: taxa de juros de longo prazo (TJLP);
- *spread* básico: 1% ao ano;
- *spread* de risco: operação direta: de 0,5% a 2,5% ao ano;
- *spread* do agente: até R\$ 7 milhões – negociável; acima de R\$ 7 milhões – até 2,5% ao ano; e com Fundo de Aval – até 4% ao ano;
- prazos: determinados em função da capacidade de pagamento do empreendimento, da empresa ou do grupo econômico;
- amortização: até 12 anos, com pagamentos mensais durante a safra;
- % financiável: até 80% dos itens financiáveis, e
- Garantias: definidas por negociação – pode-se utilizar um Fundo de Aval.

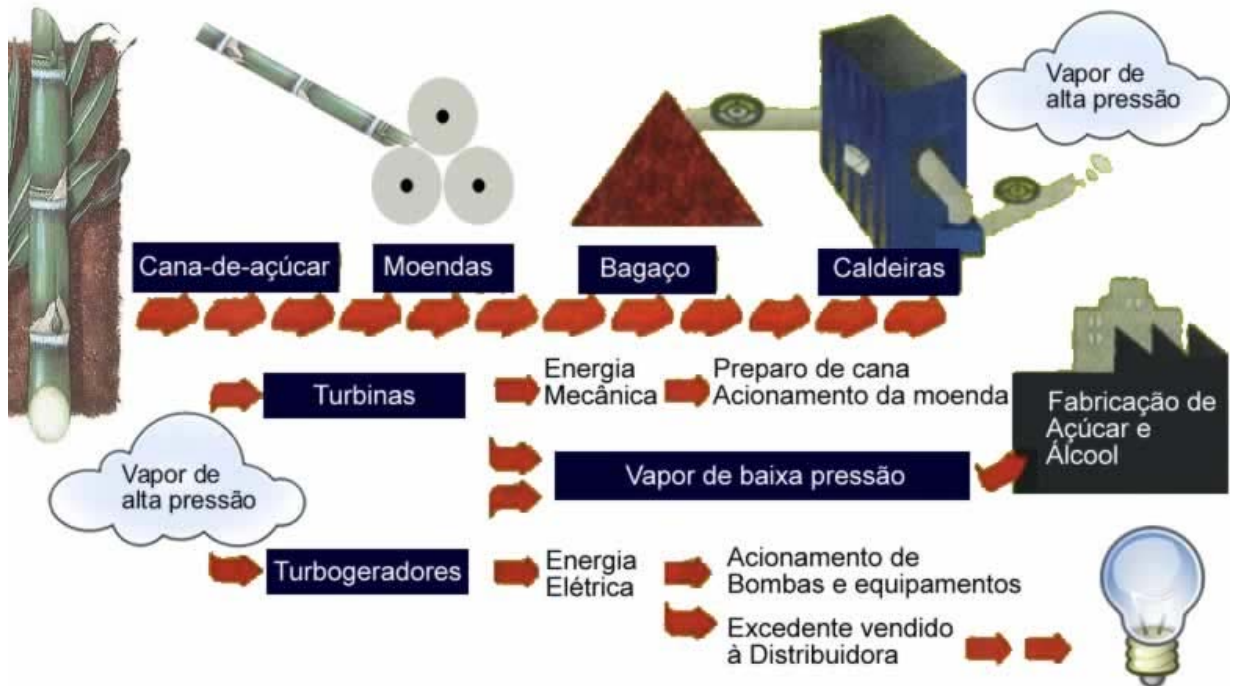
O preço do MWh gerado pelo setor sucroalcooleiro depende, sobretudo dos seguintes aspectos: i) da geração contínua (durante todo o ano); ii) do potencial de expansão: possibilidade de escala e, iii) do prazo do contrato.

De acordo com Souza (2002), a energia gerada nas usinas sucroalcooleiras tem sido capaz de suprir não somente o consumo de eletricidade no processo industrial, como também seu excedente tem sido comercializado em distribuidoras locais de energia elétrica. A usina sucroalcooleira paulista São Francisco, localizada em Sertãozinho, na região de Ribeirão Preto, foi a pioneira, no ano de 1987, na venda de energia elétrica gerada por meio do bagaço da cana, sendo compradora a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). O projeto despertou interesse na Eletrobrás, que – desde então – sempre veicula a intenção de dinamizar a co-geração⁵ de energia elétrica, por parte do setor sucroalcooleiro, em nível nacional.

A Figura 5 ilustra o processo de produção de energia elétrica por meio da biomassa. O ciclo a vapor com turbinas de contrapressão é empregado de forma integrada a processos produtivos por meio da co-geração. Nele, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica. Além disso, o vapor que seria liberado na atmosfera após a realização desses processos pode ser encaminhado para o atendimento das necessidades térmicas do processo de produção.

⁵ A co-geração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis (ANEEL, 2000).

Figura 5 – A eletricidade da biomassa a partir da cana



Fonte: Adaptado de Balbo (2008)

Segundo Tetti (2002), o Brasil é o maior e mais competitivo produtor mundial de cana-de-açúcar e derivados. Dado o bom desempenho de produtividade e das peculiaridades dos agrícolas da cana-de-açúcar no Brasil, cada tonelada de cana-de-açúcar direcionada para a produção de etanol combustível, em termos do CO₂ gerador do efeito estufa, apresenta um saldo positivo médio da ordem de 0,17 tonelada de CO₂. Ou seja, computadas todas as emissões realizadas no processo de produção do etanol (fase agrícola e industrial) e as emissões resultantes da queima final do etanol como combustível nos veículos, a “absorção” realizada pela cana em sua fase de crescimento apresenta um saldo (de eliminação de CO₂ da atmosfera) de 0,17 toneladas por tonelada de cana cultivada.

De acordo com Carvalho (2002), as perspectivas de um mercado mundial de etanol, são caracterizadas principalmente pelo advento do protocolo de Kyoto (1997) que mostra a necessidade de os países reduzirem suas emissões de CO₂, salientando-se que as emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis respondem por mais de 50% do total das fontes emissoras. O segundo período do acordo firmado em Montreal (2005), ratificou a manutenção da necessidade de reduções nas emissões de CO₂.

Estimativas sugerem que a produção nacional adicional de 500 milhões de litros de etanol combustível (e seu consumo) resultaria em um ganho de redução de emissões da ordem de 3.500.000 toneladas/ano de CO₂ (TETTI, 2002).

Szmrecsányi (2002b) aponta que o processamento industrial da cana-de-açúcar inicia-se com a extração de seu caldo. A moagem, processo mecânico geralmente adotado no Brasil, não constitui a única nem a mais eficiente modalidade de extração. Ao lado e além dela, deve-se mencionar a difusão, modalidade química que é adotada, não apenas universalmente no caso da beterraba, mas também em vários dos mais eficientes países produtores de açúcar e de etanol de cana. A substituição da moagem pela difusão representaria, portanto, uma primeira e importante inovação tecnológica a ser introduzida nos países e nas unidades industriais que ainda não adotam esta última. Um bom motivo para tanto é o fato de a difusão constituir um processo muito mais permeável às inovações de cunho biotecnológico.

Por fim, mas não menos importante, destaca-se a pesquisa brasileira do etanol de segunda geração, que visa ampliar a produtividade do etanol de cana brasileiro. O alvo é aproveitar o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, fontes de celulose que respondem por dois terços da energia da planta, mas não são convertidos em biocombustíveis. Esses resíduos, além de aparas de madeira ou sabugo de milho, são formados por celulose e podem transformar-se em biocombustível quando submetidos a reações de hidrólise, que é um processo químico de quebra de moléculas. Uma grande vantagem dessa abordagem seria reduzir a competição entre biocombustíveis e alimentos, produzindo, no caso do aproveitamento do bagaço, mais etanol por área plantada (MARQUES, 2009).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa enquadra-se como um estudo de caso, que segundo Gil (1991) é caracterizado pelo estudo exaustivo e em profundidade de um ou de poucos objetos, de forma a permitir conhecimento amplo e específico do mesmo. Todavia, a impossibilidade de generalização dos resultados obtidos constitui uma limitação deste tipo de pesquisa.

O estudo de caso é muito frequente na pesquisa social, devido à sua relativa simplicidade e economia, já que pode ser realizado por único investigador, ou por um grupo pequeno e não requer a aplicação de técnicas de massa para coleta de dados, como ocorre nos levantamentos (YIN, 2001).

A coleta de dados primários iniciou-se com a pesquisa observacional realizada na Usina Santa Terezinha, Unidade de Paranacity-PR, com o objetivo de identificar as fronteiras tecnológicas do sistema de produção.

A partir desse estudo definiu-se o escopo, o objetivo e as categorias de impactos que emergiram a partir do estudo observacional. A coleta de dados qualitativos foi realizada por meio de entrevistas semi-estruturadas com o gerente agrícola e engenheiros agrônomos da usina e com o gerente de qualidade do setor industrial (engenheiro químico). Para a realização deste estudo, além desses procedimentos, foram obtidos dados administrativos da Usina Santa Terezinha com a análise de documentos.

A triangulação dos dados levantados pelo estudo observacional, entrevistas e análise de documentos permitiu a elaboração da base de dados para a ACV do etanol combustível produzido a partir da cana-de-açúcar, na unidade de Paranacity-PR do Grupo Santa Terezinha.

3.1 BASE DE DADOS

Na busca de informações para o inventário da ACV na produção do etanol a pesquisa se valeu de dados primários e secundários. Os dados secundários foram coletados na biblioteca de inventários *ecoinvent* v2.2 do sistema SimaPro 7.

Os dados primários foram obtidos a partir de informações coletadas na Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, em levantamentos *in loco*,

realizados nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, seguindo os procedimentos da ISO 14040:2006.

As variáveis de estudo para as categorias de impacto ambiental, definidas pelo método CML 2000, são descritas a seguir.

1- Mudança Climática

Utiliza o modelo de caracterização desenvolvido pelo “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” (IPCC). Os fatores de caracterização são expressos como potencial de aquecimento global “*Global Warming Potential*” (GWP) em quilogramas (kg) equivalentes de dióxido de carbono / quilogramas (kg) de emissão.

O GWP de uma substância é a relação entre a contribuição para a absorção do calor de radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de um gás com efeito de estufa e uma igual emissão de dióxido de carbono (CO₂) integrada ao longo do tempo. Fórmula:

$$GWP_i = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt} \quad (\text{em equivalentes CO}_2) \quad (1)$$

onde:

GWP_i - representa o potencial de aquecimento global da substância *i* expresso em equivalentes CO₂;

T - representa o horizonte de tempo (20, 100, 500 anos);

a_i - efeito de uma unidade de massa de substância (*i*);

c_i (*t*) – a concentração da substância (*i*) no tempo (*t*);

a_{CO₂} e c_{CO₂} – são parâmetros correspondentes para a substância de referência (CO₂).

Horizontes de tempo longos (100 e 500 anos) são utilizados para o efeito cumulativo, enquanto horizontes de tempo curtos (20 anos) traduzem uma indicação dos efeitos de curto-prazo das emissões. As incertezas no GWP aumentam com a extensão do horizonte temporal. O aquecimento global é dado pela expressão:

$$\text{Aquecimento Global} = \sum_i \text{GWP}_i \cdot m_i \quad (\text{kg de equivalentes CO}_2) \quad (2)$$

onde:

m_i é a massa em quilogramas (kg) da substância emitida. O resultado do efeito é expresso em quilogramas (kg) de equivalentes CO₂.

2 - Destruição da Camada de Ozônio

Potenciais de depleção do ozônio, *Ozone Depletion Potential* (ODP) têm sido desenvolvidos pela *World Meteorological Organisation* (WMO) para substâncias que podem contribuir para a destruição da camada de ozônio, em termos similares aos GWPs. O ODP é definido como a relação entre a decomposição do ozônio no estado de equilíbrio devido a emissões anuais (fluxo em kg.ano⁻¹) de uma quantidade de substância emitida para a atmosfera e a decomposição do ozônio no estado de equilíbrio devida a uma quantidade igual de CFC-11:

$$\text{ODP}_i = \frac{\delta[\text{O}_3]_i}{\delta[\text{O}_3]_{\text{CFC-11}}} \quad (\text{equivalentes CFC-11}) \quad (3)$$

onde:

ODP_i - representa o potencial de depleção do ozônio da substância *i* expresso em equivalentes CFC-11;

$\delta [O_3]_i$ - representa a alteração na coluna de ozônio no estado de equilíbrio devido à emissão anual da substância (i);

$\delta [O_3]_{CFC-11}$ - representa a alteração na coluna de ozônio no estado de equilíbrio devido à emissão anual de CFC-11.

O efeito de depleção do ozônio pode ser quantificado através do resultado de efeito único:

$$Depleção\ Ozônio = \sum_i ODP_i \cdot m_i \quad (\text{kg de equivalentes CFC-11}) \quad (4)$$

onde:

M_i é a emissão da substância i em quilogramas (kg). O resultado do efeito é expresso em quilogramas (kg) de equivalentes CFC-11.

3 - Acidificação

O potencial de acidificação (*Acidification Potential*) (AP) é expresso como quilogramas (kg) equivalentes de SO_2 /quilogramas (kg) de emissão.

Os poluentes acidificantes têm uma grande variedade de impactos no solo, água subterrânea, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais (edifícios). Exemplos disto são: a mortalidade de peixes, o declínio da floresta e o esfregar dos materiais dos edifícios.

As substâncias que mais contribuem para a acidificação são o SO_2 , NO_x e NH_x . O potencial de acidificação é dado pela seguinte expressão:

$$AP_{x,r} = \frac{\sum_{e \in j} A_e \cdot x \frac{t_{r,x,j}}{CL_{e \in j}}}{\sum_{e \in j} A_e \cdot x \frac{t_{r,ref,j}}{CL_{e \in j}}} \quad (5)$$

onde:

$AP_{x,r}$ – potencial de acidificação regional da substância x na região r ;

A_{eEj} – ecossistema e na célula de grelha j ;

Cl_{eEj} – carga crítica para ecossistema e na célula de grelha j ;

$t_{r,x,j}$ – fator transporte – fracção de $E_{r,x}$ depositada em j ;

$E_{r,x}$ – emissão da substância x na região r .

As substâncias acidificantes podem ser agregadas através do AP aplicando a equação:

$$\text{Acidificação} = \sum_i AP_i \cdot m_i \quad (6)$$

onde:

AP_i - representa o potencial de acidificação da substância i ;

M_i - massa da substância i quilogramas (kg).

4 - Eutrofização

A eutrofização é o enriquecimento da água ou solo em nutrientes, azoto (N) e fósforo (P), que podem causar uma indesejável mudança na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. Nas águas superficiais a mudança na gama de espécies é geralmente evidente pelo rápido crescimento das algas, o que pode levar a um *déficit* de oxigênio, com os consequentes efeitos na flora e fauna.

O potencial de eutrofização (EP) é definido pela expressão:

$$EP_i = \frac{v_i / M_i}{v_{PO_4^{3-}} / M_{PO_4^{3-}}} \quad (\text{equivalentes } PO_4^{3-}) \quad (7)$$

A fórmula acima trata da relação entre o potencial de biomassa em equivalentes de azoto (N) (v_i) por quantidade emitida de substância (M_i) e o potencial de biomassa em equivalentes N (v_{ref}) por quantidade emitida de uma substância de referência (M_{ref}). A substância de referência é o PO_4^{3-} .

O EP é utilizado para agregar emissões de substâncias potencialmente eutrofizantes, de acordo com a seguinte equação:

$$Eutrofização = \sum_i EP_i \cdot m_i \quad (\text{kg de equivalentes } \square) \quad (8)$$

onde:

m_i - representa a emissão da substância i quilogramas (kg). O resultado vem expresso em quilogramas (kg) de equivalentes \square).

5 - Ecotoxicidade de Águas Doces

Os potenciais de ecotoxicidade (FAETP) são calculados com o USES-LCA, descrevendo o destino, exposição e efeitos das substâncias tóxicas. Fatores de caracterização são expressos como equivalentes 1,4 diclorobenzeno/ quilogramas (kg) de emissão.

A categoria de impacto, ecotoxicidade, compreende os impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas: aquático, terrestre e sedimento. Para calcular a ecotoxicidade aquática de água doce a fórmula é:

$$FAETP_{i,comp} = \frac{PEC_{i,comp,águadoce} \times E_{i,águadoce}}{PEC_{1,4-diclorobenzeno,águadoce} \times E_{1,4-diclorobenzeno,águadoce}} \quad (9)$$

onde:

$FAETP_{i,comp}$ – potencial de ecotoxicidade aquática na água doce da substância i emitida para o compartimento de emissão $comp$ (adimensional);

$PEC_{i,comp,águadoce}$ – concentração ambiental prevista na água doce da substância i devido à sua emissão para o compartimento de emissão $comp$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

$PEC_{1,4-diclorobenzeno,águadoce}$ – é a mesma concentração prevista que a anterior mas para o 1,4 diclorobenzeno ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

$E_{i,\text{águadoce}}$ – fator efeito, representando o impacto tóxico da substância i no ecossistema água doce ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$);

$E_{i, 1,4\text{-diclorobenzeno, águadoce}}$ – é o mesmo fator efeito que o anterior, mas para o 1,4 diclorobenzeno ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$).

6 - Toxicidade Humana

Os fatores de caracterização, expressos como potenciais de toxicidade humana “*Human Toxicity Potential*” (HTP), são calculados com o *Uniform System for the Evaluation of Substances in Life Cycle Assessment* (USES-LCA), descrevendo o destino, exposição e efeitos das substâncias tóxicas para um horizonte de tempo infinito. Para cada substância tóxica, HTP’s são expressos como equivalentes 1,4 diclorobenzeno/kg de emissão.

A categoria de impacto toxicidade humana compreende o impacto na saúde humana das substâncias tóxicas presentes no ambiente. Uma variedade de métodos de caracterização da toxicidade humana têm sido desenvolvidos e apresentados em CML, 2000, dispondo de fatores de caracterização que são geralmente referidos como potenciais de toxicidade humana, *Human Toxicity Potentials* (HTPs).

A fórmula geral para determinar os HTPs é sempre definida relativamente a uma substância de referência e compreende as seguintes dimensões independentes: destino, exposição/dose, efeito e transferência:

$$HTP_{i, \text{ecomp}} = \frac{\sum_{fcomp} \sum_r F_{i, \text{ecomp}, fcomp} x T_{i, fcomp, r} x I_r x E_{i, r}}{\sum_{fcomp} \sum_r F_{refi, refecomp, fcomp} x T_{refi, fcomp, r} x I_r x E_{refi, r}} \quad (10)$$

onde:

$HTP_{i, \text{ecomp}}$ – potencial de toxicidade humana (*Human Toxicity Potential*), o fator de caracterização para toxicidade humana da substância i emitida para o compartimento de emissão $ecomp$;

$F_{i,ecomp, fcomp}$ – “fator destino” - representando o transporte intermediário da substância i do compartimento de emissão $ecomp$ para o compartimento final $fcomp$ e degradação dentro do compartimento $ecomp$;

$T_{i, fcomp, r}$ – “fator de transferência” - a fração de substância i transferida de $fcomp$ para o modo de exposição r (ar, água de beber, peixe, plantas, carne, leite, etc.);

I_r – “fator dose” – representando a dose humana via modo de exposição r , assim, uma função da dose diária de ar, água de beber, peixe, etc.;

$E_{i,r}$ – “fator efeito” - representando o efeito tóxico da dose de substância i via modo de exposição r .

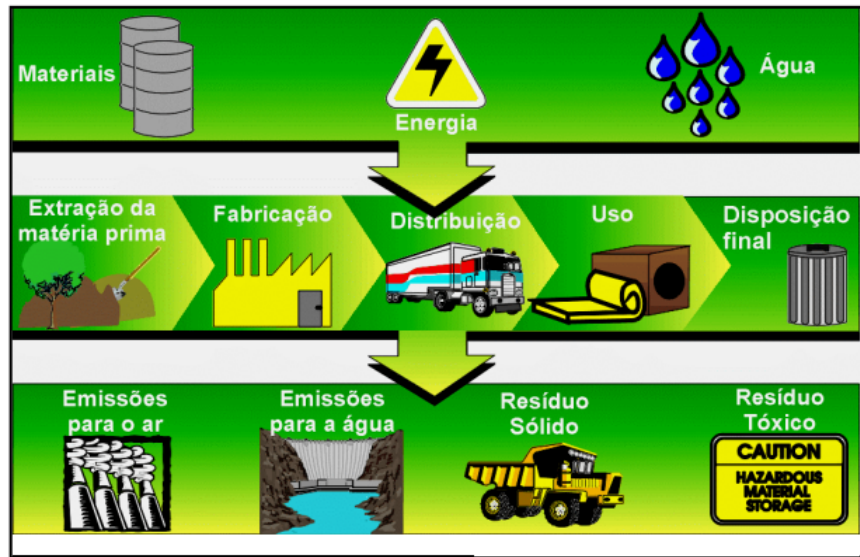
3.2 O PROCEDIMENTO DE PESQUISA E ANÁLISE: ETAPAS DE UM ESTUDO DE ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conhecida internacionalmente por *Life Cycle Assessment* (LCA), é uma técnica de avaliação de impacto ambiental associado a um produto ou serviço, durante o seu ciclo de vida (GOEDKOOOP, 1998).

O termo *Life Cycle Assessment* foi utilizado primeiramente nos Estados Unidos da América (EUA) em 1990. A designação histórica para estes estudos de ciclo de vida ambiental, utilizados nos EUA desde 1970, era *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) (HUNT; FRANKLIN, 1996).

As avaliações do ciclo de vida de produtos, processos e serviços avaliam os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados, desde a extração dos recursos naturais até o uso e disposição final do produto, conforme Figura 6.

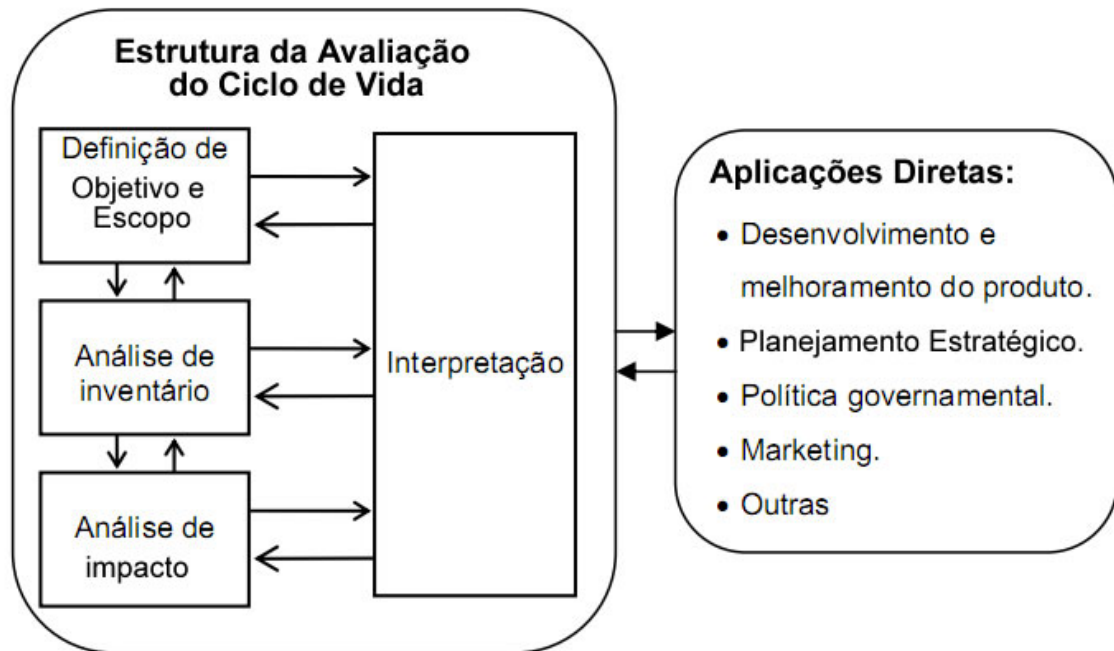
Figura 6 – Representação das etapas consideradas em um estudo de ACV



Fonte: Coltro (2007)

Um estudo de ACV é dividido em quatro fases, conforme apresentado na Figura 7. Na primeira fase, Definição e Escopo, o propósito do estudo e sua amplitude são definidos, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras e a unidade funcional. Na fase de Análise e Inventário, informações sobre o sistema do produto são levantadas e as entradas e as saídas consideradas relevantes para o sistema são quantificadas. Na fase de Avaliação de Impacto, os dados e as informações gerados da Análise de Inventário são associados a impactos ambientais específicos, de modo que o significado destes impactos potenciais possa ser avaliado. E, na fase de Interpretação, os resultados obtidos nas fases de Análise de Inventário e de Avaliação de Impacto são combinados e interpretados de acordo com os objetivos definidos previamente no estudo.

Figura 7 – Fases de um estudo de ACV a partir da ISO 14040



Fonte: ISO 14040 (2006)

De acordo com a *U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation – USEPA (2001) apud Ferreira (2004)*, na elaboração de um estudo de ACV, os pesquisadores podem:

- Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto;
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os *stakeholders* aceitem uma ação planejada;
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem.
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

3.2.1 Definições dos Objetivos e Escopo da ACV

O estudo foi conduzido de acordo com a norma ISO 14040 (2006) – *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, objetivando identificar os pontos críticos no ciclo de vida do etanol combustível e propor melhorias no produto, propiciando otimização e elaboração de políticas.

Frischknecht (1996) *apud* Ferreira (2004) propõe que as aplicações para a ACV sejam divididas em aplicações específicas à empresa e aplicações genéricas e num nível operacional, tático e estratégico, conforme se ilustra no Quadro 1.

Quadro 1 – Aplicações da avaliação do ciclo de vida (ACV)

Aplicações da ACV	Específica à Empresa	Genérica
Operacional - Informação do Produto - Melhoramento do Produto	Declaração do Produto	Informação do Consumidor
Tática - Rotulagem do Produto - Regulação do Produto	<i>Marketing</i> Fornecedor e/ou utilizador de necessidades e incentivos	Rotulagem Ambiental Normas de produtos, taxas e subsídios
Estratégica - Desempenho do Produto - Estrutural	Prioridades específicas Ajustamento na gama de produtos	Prioridades genéricas Legislação do produto

Fonte: Frischknecht (1996) *apud* Ferreira (2004)

Os dados coletados referem-se à produção de 1 m³ de etanol hidratado destinado a exportação, que foi a unidade funcional adotada, cuja cana-de-açúcar foi cultivada numa área de 38.678 ha, na localidade de Paranacity-PR e municípios circunvizinhos.

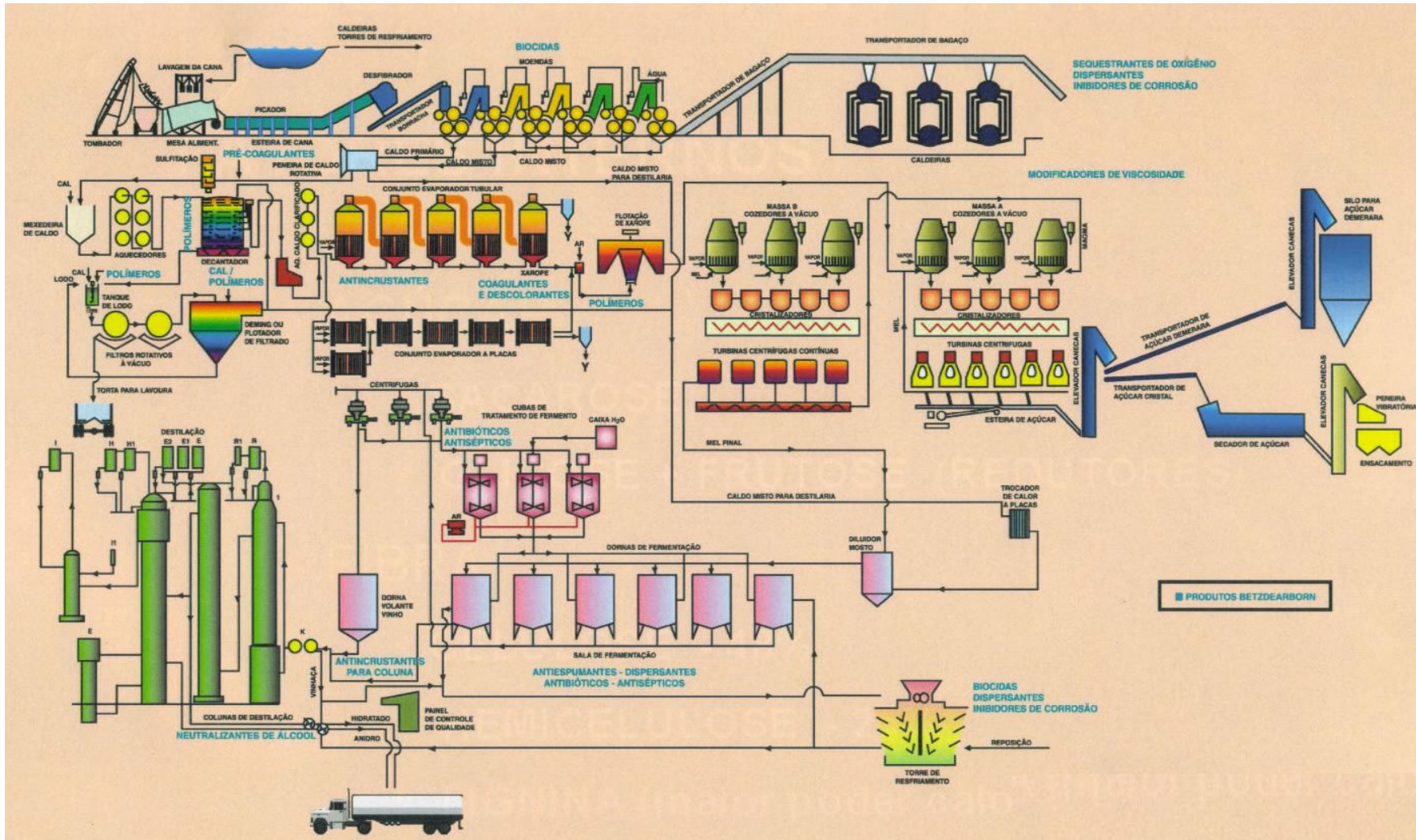
Foram contabilizados todos os insumos necessários para a produção do etanol hidratado em termos de uso de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas, água, óleo diesel e energia, bem como a disposição de resíduos.

O sistema avaliado incluiu o cultivo agrícola da cana-de-açúcar, a colheita, o beneficiamento, a estocagem e o transporte por caminhões até o porto para exportação. Somente as entradas e saídas associadas ao cultivo da cana-de-

açúcar foram consideradas nas fronteiras deste estudo. A produção de fertilizantes, corretivos e pesticidas não foi incluída, mas somente seu consumo. A abrangência temporal deste estudo foi a safra de 2011, iniciada em 28 de março e concluída em 10 de novembro de 2011.

O fluxograma elaborado para a produção do etanol considerou os principais processos da cadeia produtiva, conforme Figura 8. O ciclo industrial se dá da seguinte forma: a matéria-prima é recebida na Usina e a cana classificada para análise passa pelo laboratório de Pagamento de Cana por Teor de Sacarose, onde é amostrada por sonda nos pontos específicos determinados para a carga. Em seguida, é descarregada por tombadores diretamente na mesa alimentadora de 45° para lavagem, a seguir é levada por esteiras ao picador e depois ao desfibrador e, por conseguinte às moendas. A partir da moenda, o bagaço é destinado às caldeiras, o caldo primário passa pela peneira de caldo rotativa, depois pela mexedeira de caldo, decantador e conjunto evaporador tubular, onde se transforma em mel e no produto final açúcar. Como resíduo desse processo, a partir dos filtros rotativos temos a torta destinada a uso na lavoura como adubo orgânico. O caldo misto, por sua vez, juntamente com o mel final são encaminhados para a destilaria, passando pelas dornas de fermentação, onde o resíduo do processo é a vinhança e o produto final armazenado em colunas de destilação é o etanol anidro ou hidratado, que após testes de controle de qualidade é transportado ao mercado consumidor.

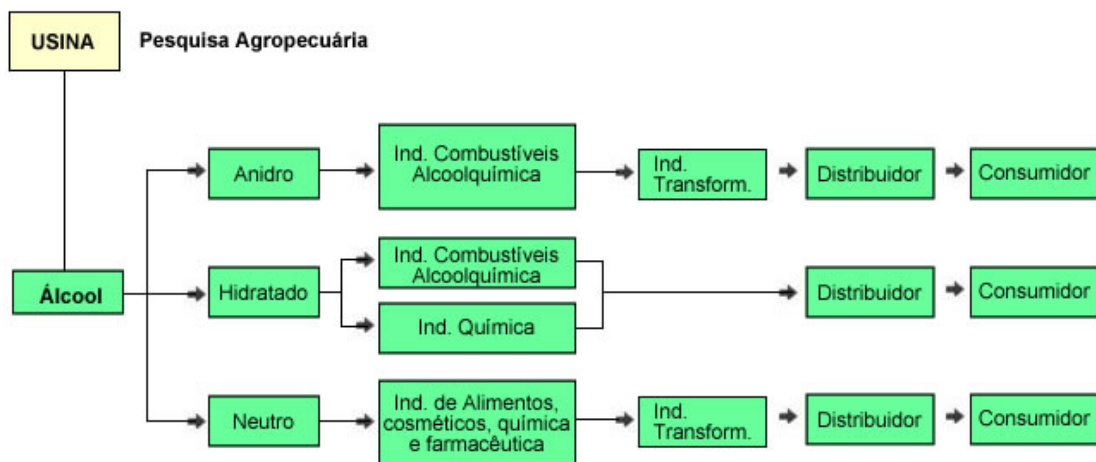
Figura 8 – Diagrama de produção da agroindústria canvieira



Fonte: BetzDearborn Water Management Group (2011)

Conforme Figura 9, é importante destacar que a partir da cana-de-açúcar é possível a produção de três tipos de álcool: i) o anidro, utilizado como combustível diluído na gasolina e na indústria de transformação; ii) o hidratado, utilizado como combustível, e, iii) o neutro, utilizado na indústria de alimentos, cosméticos, química e farmacêutica.

Figura 9 – Cadeia produtiva de energia térmica a partir da cana-de-açúcar



Fonte: adaptado de GOES *et al* (2009)

Dentre as ferramentas de Avaliação de Ciclo de Vida, destacam-se: o *Ecoindicator 95*; o *Ecoindicator 99*; o EDIP; o TRACI e o CML 2000.

Nesse estudo será utilizado o Método CML 2000, considerado um método "multi-fase", sendo um dos primeiros métodos de avaliação, desenvolvido e utilizado em vários países. O seu nome está relacionado com a entidade onde foi desenvolvido - o Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda (FERREIRA, 2004). Com o CML 2000 serão avaliadas as seguintes categorias de impacto:

- mudança climática;
- destruição da camada de ozônio;
- acidificação;
- eutrofização;
- ecotoxicidade de águas doces;
- toxicidade humana.

O software utilizado será o SimaPro 7, desenvolvido pela empresa *Pré Consultants*, e que se trata de uma ferramenta profissional para coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços. Ele permite modelar e analisar dos mais complexos aos mais simples ciclos de vida de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040 (PRÉ, 2011).

A informação no SimaPro encontra-se organizada em projetos, os quais podem incluir diversos ciclos de vida de um ou vários produtos e cujos processos podem ser extraídos das bases de dados do SimaPro (PRÉ, 2011).

Uma vez definido o Ciclo de Vida, o SimaPro calcula a soma das diversas intervenções ambientais associadas à unidade funcional definida na modelação.

Para verificar a qualidade dos dados utilizou-se a matriz *pedigree*, onde cada dado inventariado é classificado com base em seis critérios apresentados no Quadro 2. Nesta matriz, os dados são interpretados de acordo com as características dispostas nas linhas e, posteriormente, recebem pontuações de acordo com a confiabilidade dos dados coletados (dispostos nas colunas).

Após avaliar a qualidade dos dados, seguindo estes critérios, os dados recebem pontuações que variam de 1,00, significando maior confiabilidade nos dados, a 2,00, significando menor confiabilidade nos dados. Em seguida, determinou-se um vetor *pedigree*, representados pelos números de 1 a 5 (conforme indicado no Quadro 2), para cada um dos requisitos confiança, integralidade, correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica e tamanho da amostra.

Definido este vetor *pedigree*, o vetor resultado ($U_1 - U_6$), e identificado a incerteza básica para cada tipo de emissão (U_b), calcula-se a variância, em que o valor da variância encontrado foi incluído no *software* para fazer o estudo de sensibilidade dos resultados. Esta etapa permitiu avaliar a incerteza dos resultados no final do estudo, ou seja, o quanto os resultados poderiam variar.

Quadro 2 – Matriz Pedigree em tradução livre					
Pontuação	1	2	3	4	5
U1 Confiança	Dados verificados e baseados em medições	Dados verificados parcialmente e baseados em hipóteses ou dados não verificados baseados em mediações	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativa qualificada ou dados derivados de informação teórica	Estimativa não qualificada
U2 Integralidade	Dados representativos para um número relevante de empresas durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para mais de 50% do mercado durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para uma fatia pequena de empresas, mas relevante para o mercado em estudo ou dados de mais de 50% de empresas por um curto período de tempo	Dados representativos para somente uma empresa relevante para o mercado considerado	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de empresas em um período de tempo pequeno
U3 Correlação Temporal	Menos de 3 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 6 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 10 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 15 anos de diferença para o ano de referência	Data desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano de referência
U4 Correlação Geográfica	Dados da área de estudo	Dados médios de uma área maior que a área de estudo	Dados de uma área menor que a do estudo ou dados de uma área similar		Dados desconhecidos ou dados de área distinta a área de estudo
U5 Correlação Tecnológica	Dados de empreendimentos, processos e matérias do estudo		Dados de processos/materiais correlatos, mas mesma tecnologia ou dados de processos e materiais do estudo, mas tecnologia diferente	Dados de processos/materiais correlatos, mas diferente tecnologia ou dados de escala laboratorial e mesma tecnologia	Dados de processos/materiais correlatos, mas com diferente tecnologia e em escala laboratorial
U6 Tamanho da Amostra	> 100, medidas contínuas, balanço de produtos comprados	> 20	> 10, Figuras de relatórios ambientais	>= 3	Desconhecido

Fonte: Derivada de Pedersen; Weidema; Wesnaes (1996) *apud* Althaus (2007).

3.2.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida

Após o objetivo e âmbito do estudo estar claramente definidos, a fase seguinte da metodologia ACV é a análise de inventário que identifica e quantifica as entradas e saídas do sistema de produto investigado.

O processo de condução de uma análise de inventário é dinâmico, pois à medida que os dados são conhecidos e mais informação acerca do sistema é adquirida, novos requisitos de dados ou limitações podem ser identificados, requerendo uma alteração nos procedimentos de coleta de dados, para que os objetivos do estudo ainda sejam satisfeitos (FERREIRA, 2004).

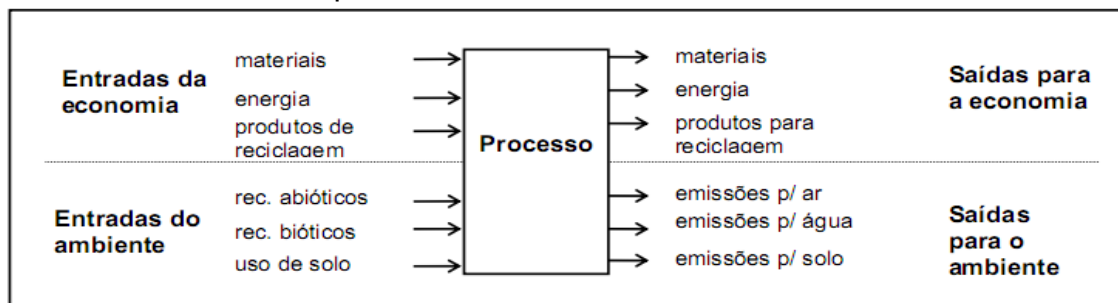
A análise de inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto, considerando os seguintes itens:

- Fases: coleta de dados; validação dos dados; relacionar dados a unidade de processo (alocação inclui reuso e reciclagem); relacionar dados a unidade funcional; agregação dos dados; refinamento das fronteiras do sistema;
- Recomendações da ISO 14040: desenho de fluxogramas de processo que delineiam todas as unidades de processo; descrição das unidades de processos com os dados categorizados; descrição da técnica de coleta de dados e cálculo; fornecimento de instruções para documentação de casos especiais, irregularidade ou outros;
- Evitar a duplicação ou falhas de contagem: descrever cada processo; documentar os procedimentos de alocação; referenciar as fontes de dados; incluir informações sobre a qualidade dos dados;
- Validação dos dados: balanço de massa; balanço de energia; análise comparativa de fatores de emissão;
- Procedimentos a adotar no caso de ausência de dados: incluir um valor diferente de zero, com justificativa; incluir um valor igual a zero, com justificativa; incluir um valor calculado com bases em tecnologias similares; documentar dados ausentes;

- Relacionar dados a unidades de processo: dividir as entradas e saídas proporcionalmente;
- Relacionar dados a unidade funcional: normalizar o fluxo de todos os processos para unidade funcional;
- Agregação de dados – recomendações: que o nível de agregação seja suficiente para satisfazer o objetivo do estudo; que somente sejam agregadas substâncias equivalentes e que tenham impactos ambientais similares; uso da análise de sensibilidade: excluir ou incluir etapas do ciclo de vida com pouca ou nenhuma significância; excluir ou incluir entradas e saídas sem significância para os resultados do estudo (ACV BRASIL, 2010).

Para análise do inventário e de acordo com a norma ISO 14040, devem ser recolhidos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que esteja incluído dentro dos limites do sistema. A coleta de dados é feita em dois tipos de fluxos de entrada e de saída, conforme Figura 10.

Figura 10 – Representação dos fluxos econômicos e ambientais de entrada e de saída de um processo econômico



Fonte: Adaptada de Heijungs *et al* (1992) *apud* Ferreira (2004)

3.2.3 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) é definida como sendo um processo técnico, quantitativo e/ou qualitativo, para caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas no componente inventário (CONSOLI *et al*, 1993 *apud* FERREIRA, 2004).

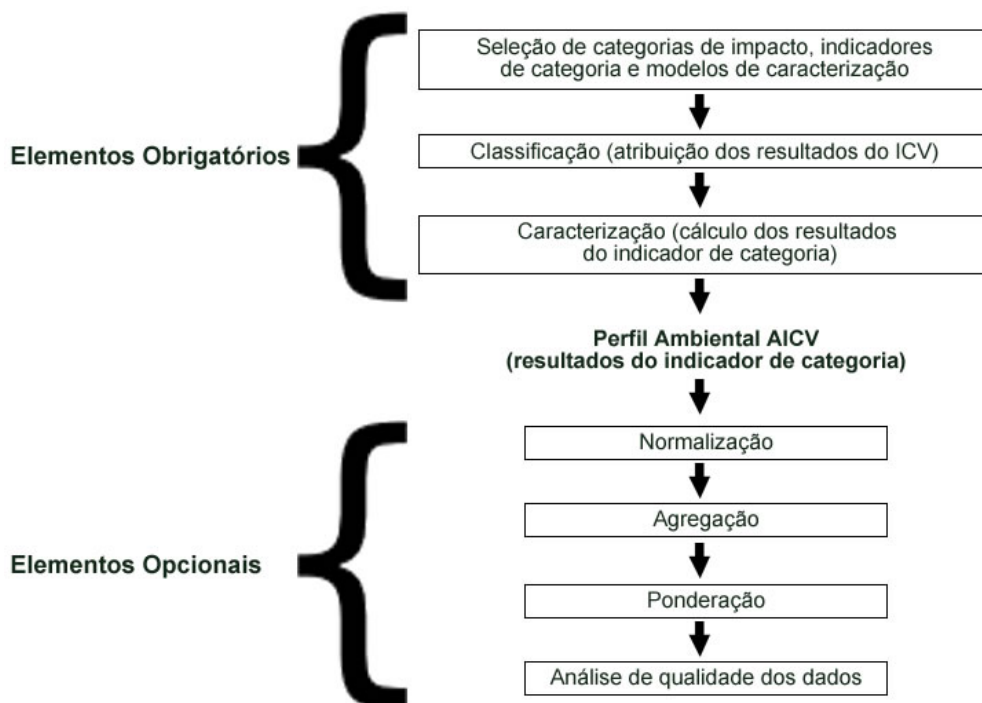
Para uma AICV, os impactos são definidos como as consequências causadas pelos fluxos de entrada e de saída de um sistema na saúde humana,

plantas e animais, ou a disponibilidade futura dos recursos. Os procedimentos podem ser distinguidos entre procedimentos “fase-única” e procedimentos “multi-fase” (HAES, 1996 *apud* FERREIRA, 2004).

A principal razão para uma abordagem “fase-única” é a sua simplicidade de aplicação, porém, devido, sobretudo à sua maior transparência, o procedimento “multi-fase” tem sido um princípio preferido.

A fase AICV compreende uma série de elementos obrigatórios e de elementos opcionais, conforme Figura 11.

Figura 11 – Elementos da fase AICV



Fonte: Adaptado da norma ISO14042:2000 *apud* Ferreira, (2004)

Os elementos obrigatórios convertem os resultados do Inventário do Ciclo de Vida em resultados de indicador de categoria (perfil ambiental) para as diferentes categorias de impacto e os elementos opcionais servem para normalizar, agrupar ou pesar os resultados do indicador e técnicas de análise de qualidade dos dados.

De acordo com a ISO 14040 os pontos de partida relevantes para a definição das categorias de impacto e indicadores de categoria e para os correspondentes fatores de equivalência são sintetizados no Quadro 3.

Quadro 3 – Lista de categorias de impacto para AICV

Categorias de Impacto	Áreas Gerais para Proteção		
	Recurso	Saúde Humana	Saúde Ecológica
A) Depleção de Recursos			
Recursos Abióticos	+		
Recursos Bióticos	+		
B) Poluição			
Aquecimento Global		(+)	+
Depleção do Ozônio		(+)	(+)
Formação de Oxidantes Fotoquímicos		+	+
Acidificação		(+)	+
Eutrofização (ou Nitrificação)			+
Toxicidade Humana		+	
Ecotoxicidade		(+)	+
C) Degradação de Ecossistemas e Paisagem			
Utilização do solo			+

Obs.: os símbolos + significa impacto potencial direto; e (+) significa impacto potencial indireto

Fonte: ISO 14047 *apud* Ferreira (2004)

Como evidenciado no Quadro 3, os impactos ambientais podem ser diretos e indiretos.

4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL HIDRATADO PRODUZIDO PELA UNIDADE PARANACITY DO GRUPO SANTA TEREZINHA

Nesse capítulo realiza-se a análise da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha. Na primeira parte, apresenta-se um breve histórico do Grupo Santa Terezinha e discute-se a elaboração do inventário referente à Unidade Paranacity. Na segunda parte apresentam-se os resultados de impactos preconizados pelo Método CML 2000, a partir da ACV, finalizando com a discussão dos principais resultados do estudo e as recomendações para estudos futuros.

4.1 HISTÓRICO DO GRUPO SANTA TEREZINHA

A empresa foi fundada no início dos anos 1960 pelos irmãos Meneguetti e por Alberto Seghese, com a implantação de um alambique no município de Maringá - PR. Em pouco tempo, a empresa se transformou em uma fábrica de açúcar, passando então de engenho Alberto Seghese para Usina Santa Terezinha (USACUCAR, 2011).

Na década de 1980 iniciou-se a fase de expansão do grupo com a reativação de três destilarias na região noroeste do Paraná (USACUCAR, 2011). Com o mercado cada vez mais exigente aliado ao processo de globalização da economia, em 1995, foi implantado um projeto para modernização do parque industrial e ampliação dos plantios de cana-de-açúcar, sendo este o marco de consolidação do Grupo Santa Terezinha (USACUCAR, 2011).

O Grupo Santa Terezinha possui seis unidades na região noroeste do Paraná e já se encontra em andamento a implantação de mais três unidades, conforme Figura 12, transformando-se em um grande produtor de açúcar e etanol do Paraná (USACUCAR, 2011).

Figura 12 – Unidades do grupo Santa Terezinha



Fonte: Usina Santa Terezinha (2011)

O Grupo Santa Terezinha, além da Unidade de Paranacity, é composto pelas seguintes unidades:

- Unidade Maringá: localiza-se o escritório central. Em sua infraestrutura concentram-se as áreas corporativas, administrativas, financeira e comercial que coordenam estas atividades de todas as unidades do Grupo Santa Terezinha.
- Unidade Iguatemi: tem seu *mix* de produção voltado para o açúcar VHP e pode chegar a moer 9.000 toneladas de cana em um dia e produzir simultaneamente 1.000 toneladas de açúcar VHP e 180.000 litros de etanol hidratado.
- Unidade Santo Antônio do Caiuá: planta em construção.
- Unidade Terra Rica: com início da produção em maio de 2007, a unidade possui a operação industrial comandada a partir do Centro de Operações Integradas (COI), responsável pelo controle da atividade industrial.
- Unidade Rondon: planta em construção.
- Unidade Ivaté: a instalação da atual da moenda e equipamentos tem capacidade de processar até 9.600 toneladas de cana por dia.

- Unidade São Tomé: em maio de 2006, foi incorporada ao grupo essa unidade, produzindo 1.200.000 toneladas de cana-de-açúcar, contando também com colheita mecanizada.
- Unidade Cidade Gaúcha: planta em construção.
- Unidade Tapejara: o Grupo Santa Terezinha além da produção de açúcar e etanol produz também energia, exemplo disso é a unidade de Tapejara que possui geradores com capacidade de produção de 50.5 MW que será destinada 70% a Eletrobrás.

4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DA UNIDADE DE PARANACITY

A unidade Paranacity (Figura 13) iniciou suas atividades em março de 1987 e tem seu *mix* de produção voltado para o açúcar *Very High Polarization* (VHP) e pode chegar a moer 9.000 toneladas/*mix* por dia, e produzir simultaneamente 1.000 toneladas de açúcar *vhp* e 180.000 litros de etanol hidratado.

Figura 13 – Vista panorâmica da Unidade de Paranacity-PR, Usacucar



Fonte: USACUCAR (2011)

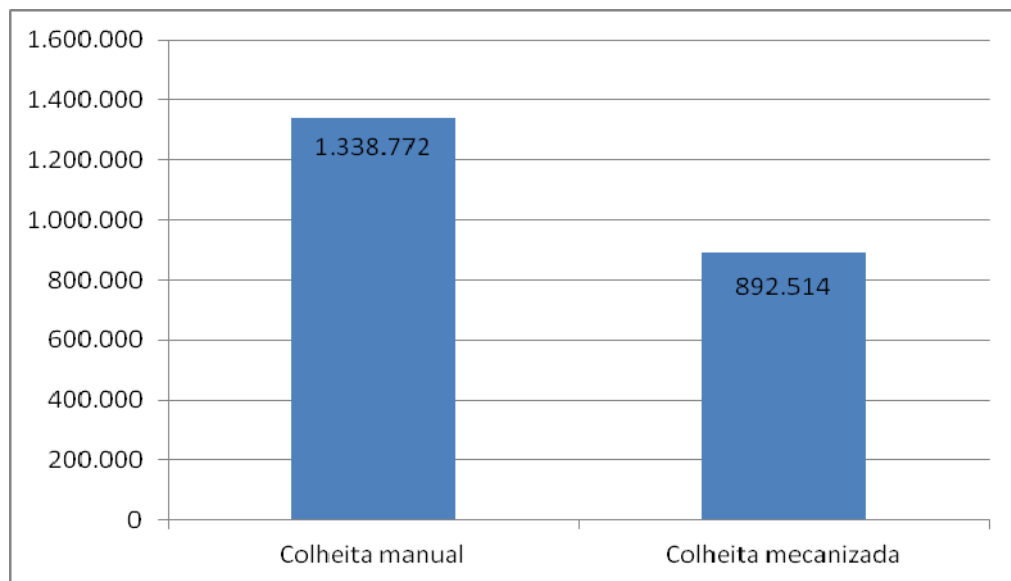
Na safra 2011 a usina possuía 3.500 funcionários, distribuídos da seguinte forma: i) 82 na área administrativa; ii) 426 na área industrial e, iii) 2.992 na área agrícola.

Nessa unidade, além da área destinada à produção da cana-de-açúcar que em 2011 foi 38.678 ha, são destinados 1.500 ha para formação de mudas e 3.500 ha para realizar novos plantios.

A análise descritiva a seguir é baseada na safra 2011, iniciada em 28 de março e concluída em 10 de novembro de 2011. Foram processadas nesse

período, 2.231.286 toneladas de cana, sendo 60% colhidas de forma manual (1.338.772 toneladas) e 40% de forma mecanizada (892.514 toneladas), conforme Figura 14. A produtividade média foi 57,69 toneladas/ha, bem abaixo da média nacional (85 toneladas/ha), que pode ser explicada pela idade dos canaviais (7,98 cortes). Do total de cana processada, 75,20% foram destinados à produção de açúcar VHP e 24,80% para a produção de etanol hidratado.

Figura 14 – Cana processada por tipo de corte, safra 2011, em toneladas



Fonte: Elaboração a partir de dados da pesquisa

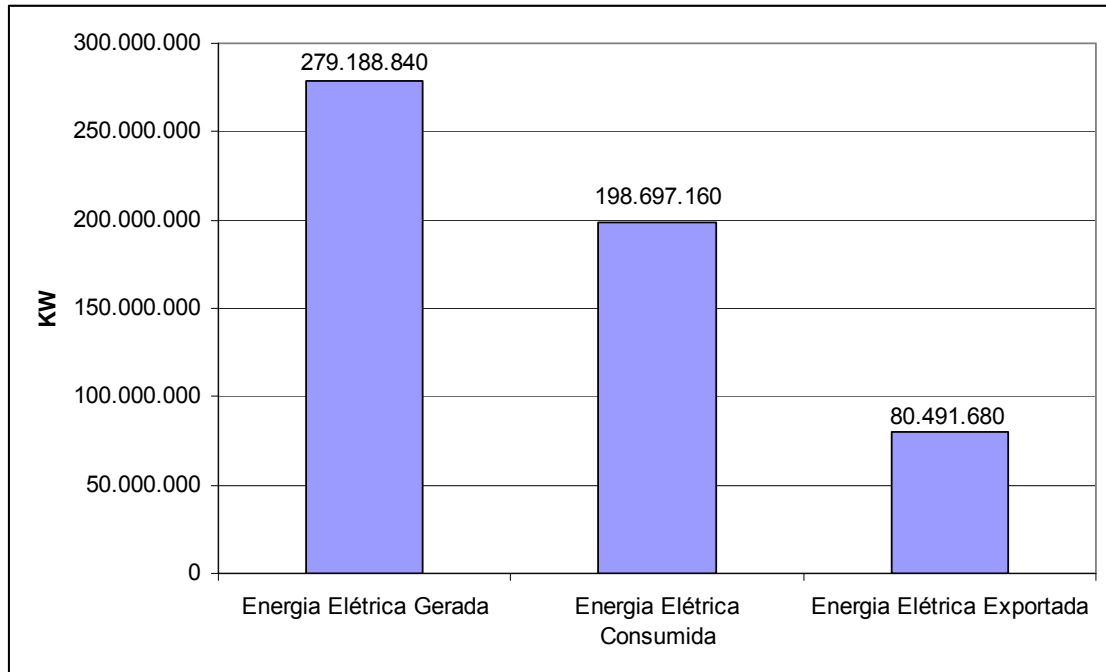
No que se refere à produção de açúcar e álcool, foram produzidas 4.448.704 sacas (50 kg cada) de açúcar VHP e 48.891.480 litros de etanol hidratado, ambos destinados à exportação para Europa e Ásia. Em termos de produtividade média, produziu-se 88,37 litros de etanol hidratado/tonelada e 100 kg de açúcar VHP/tonelada, comparativamente a 82 litros de álcool/tonelada e 138 kg de açúcar/tonelada da média nacional.

Em termos de uso de água no processamento de 2.231.286 toneladas de cana, foram utilizados 6.693.858 m³ de água, equivalente a 3 m³/tonelada, em média. A água é reaproveitada em circuito fechado, sendo a água residual destinada à decantação e posteriormente à compostagem.

A produção de 48.891.480 litros de etanol hidratado resultou na geração de 488.914.800 litros de vinhaça, que foi 100% utilizada na ferti-irrigação. Na média, cada 1 litro de etanol hidratado gerou 10 litros de vinhaça.

O consumo teórico de bagaço utilizado na produção de vapor foi 11.571.173 toneladas, gerando 279.188.840 KW de energia elétrica, dos quais 198.697.160 KW foram consumidos pela Unidade Paracity e 80.491.680 KW foram exportados para a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) (Figura 15).

Figura 15 – Energia elétrica gerada, consumida e exportada, safra 2011, em KW



Fonte: Elaboração a partir de dados da pesquisa

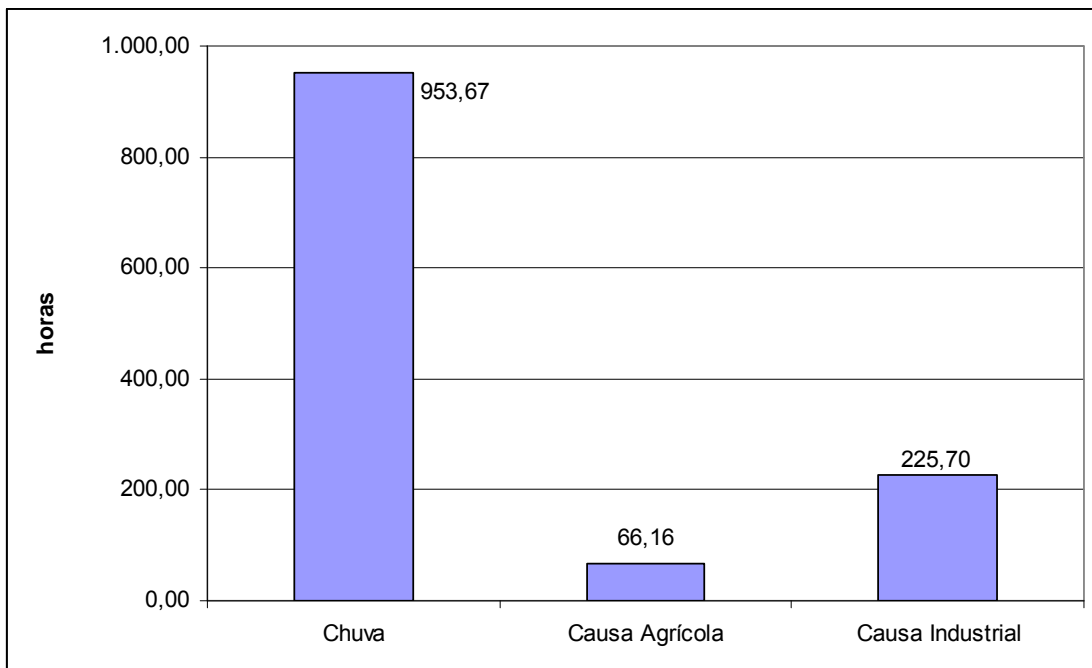
A produção de açúcar e etanol hidratado gerou 81.271.750 kg de torta de filtro, que foi utilizada 100% como adubo orgânico. Na média foram produzidos 36,43 kg de torta de filtro/tonelada de cana, acima do ideal que é 30 kg/tonelada. O montante médio de terra retirada da cana no processo industrial foi 19,97 kg/tonelada.

Em termos de distribuição varietal, em 2011, a Unidade Paracity utilizou 27 variedades de cana, das 119 possíveis de serem utilizadas no Brasil. Dados pluviométricos da Usina apontam que no ano a precipitação média foi 1.213 mm e na safra 2011, 610 mm.

A indústria processou 542.467 toneladas/hora. Sendo que das 5.358,75 horas possíveis de serem utilizadas na moagem, na safra 2011, houve perda de 1.245,53 horas, distribuídas da seguinte forma (Figura 16):

- chuva: 953,67 horas;
- causa agrícola: 66,16 horas; e,
- causa industrial: 225,7 horas.

Figura 16 – Causas de perdas na moagem durante a safra 2011, em horas



Fonte: Elaboração a partir de dados da pesquisa

Na safra 2011 trabalhou-se com os seguintes custos-padrão: R\$ 19,50/tonelada no corte manual e R\$ 20,50 no corte mecanizado. No manejo agrícola e no transporte da cana e do etanol hidratado até o Porto de Paranaguá, consumiu-se 111.564 litros de óleo diesel. Na fase agrícola, o consumo de herbicidas, inseticidas, nematicidas, formicidas e o controle da broca da cana estão retratados na Tabela 14.

Tabela 14 – Consumo de herbicidas, inseticidas, nematicidas, formicidas e controle da broca da cana, safra 2011

Produtos	Quantidade	Unidade
Herbicidas		
Tebuthiuron	77.356	litros
Ametrina	232.068	litros
Diuran	77.356	kg
Hexazinona	13,5373	kg
Trifluralina	96.695	litros
Sulfentrazone	46.413,60	litros
Metolaclo	77.356	litros
Clomazona	46.413,60	litros
Isoxaflutole	4.254,58	kg
Imazapic	7.735,60	Kg
Inseticida		
Imidacloprid	65,76	kg
Broca da Cana		
Certero	30,94	litros
Nematicida		
Carbofuran	193.390	litros
Formicida		
Mirex S	1.933	kg

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Os herbicidas representam a classe de agrotóxicos mais empregados na cultura da cana-de-açúcar, sendo importante o seu monitoramento nos corpos hídricos.

4.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CICLO DE VIDA (AICV) DA UNIDADE PARANACITY

4.3.1 Considerações e Premissas

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) do etanol hidratado produzido pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha levou em consideração a coleta primária de dados. Para elementos faltantes e aos processos secundários, foi empregada a biblioteca de inventários *ecoinvent* v2.2, a qual inclui inventários para a cana-de-açúcar, etanol hidratado e matriz energética nacionais.

Quanto à análise dos resultados, utilizou-se o método CML 2000, sendo empregada a Análise de Incerteza e a Análise de Sensibilidade para as seguintes características:

- Inclusão da produção de defensivos químicos;
- Comparação com inventários disponíveis no *ecoinvent*;
- Exclusão dos processos de infraestrutura.

No Quadro 4 a seguir expõe-se a correlação de produtos químicos que foram escolhidos para os defensivos utilizados pela Unidade Paranacity, na safra 2011.

Quadro 4 – Correlação de defensivos agrícolas utilizados

Produtos	Produto Químico Escolhido no Ecoinvent
Herbicidas	
Tebuthiuron	<i>Urea, as N, at regional storehouse/RER U</i>
Ametrina	<i>Triazine-compounds, at regional storehouse/RER U</i>
Diuran	<i>Diuron, at regional storehouse/RER U</i>
Hexazinona	<i>Triazine-compounds, at regional storehouse/RER U</i>
Trifluralina	<i>Dinitroaniline-compounds, at regional storehouse/RER U</i>
Sulfentrazone	<i>Herbicides, at regional storehouse/RER U</i>
Metolachloro	<i>Metolachlor, at regional storehouse/RER U</i>
Clomazona	<i>Herbicides, at regional storehouse/RER U</i>
Isoxaflutole	<i>Herbicides, at regional storehouse/RER U</i>
Imazapic	<i>Herbicides, at regional storehouse/RER U</i>
Inseticida	
Imidacloprid	<i>Insecticides, at regional storehouse/RER U</i>
Broca da Cana	
Certero	<i>Insecticides, at regional storehouse/RER U</i>
Nematicida	
Carbofuran	<i>Carbofuran, at regional storehouse/RER U</i>
Formicida	
Mirex S	<i>Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U</i>

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A unidade funcional escolhida foi a produção de 1 m³ de etanol hidratado destinado à exportação via Porto de Paranaguá - PR. A Tabela 15 sintetiza os dados de produção, consumo de recursos e geração de resíduos, considerando essa unidade funcional.

Tabela 15 – Dados de produção, consumo de recursos e geração de resíduos, considerando a unidade funcional

Descrição	Quantidade	Unidade
Cana processada	11,32	toneladas
Água consumida	33,95	m ³
Energia elétrica consumida	1.008	Kw
Óleo diesel	950	litros
Vinhaça	10.000	litros
Bagaço gerado	2.943,2	kg
Torta de filtro	412,24	kg

Fonte: Elaboração a partir de dados da pesquisa

Todos os resultados apresentados na avaliação das categorias de impacto ambiental referem-se à produção de 1 m³ de etanol hidratado, com o reuso

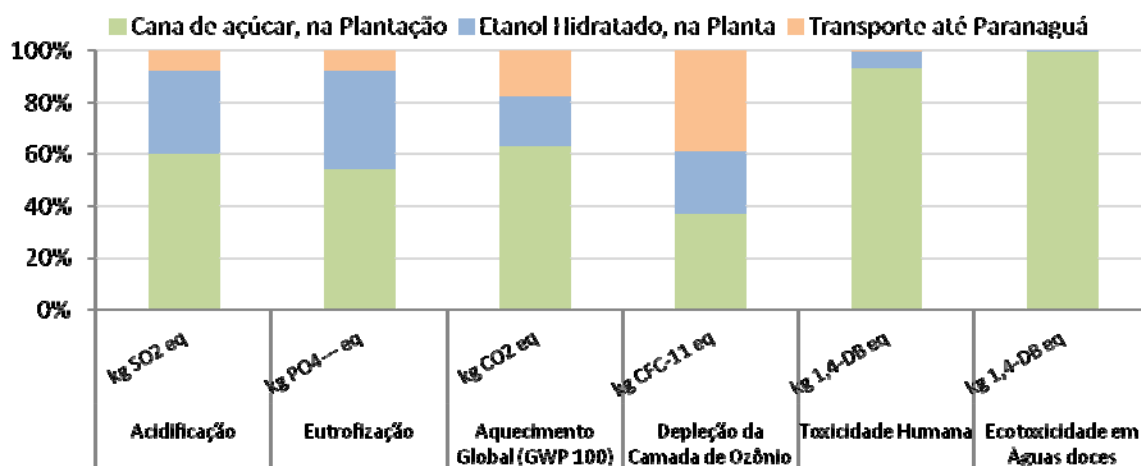
de água, aproveitamento da vinhaça na ferti-irrigação, da torta de filtro como adubo orgânico e do bagaço na co-geração de energia elétrica.

4.3.2 Avaliação das Categorias de Impacto

A Figura 17 demonstra uma visão global da caracterização dos impactos relacionados ao ciclo de vida, do berço ao porto, do etanol hidratado fermentado em Paranacity. Conclui-se, que a fase agrícola deste produto representa, relativamente, o maior impacto ambiental potencial quando confrontada com a etapa industrial e de transporte do biocombustível ao Porto de Paranaguá.

Percebe-se que o destaque para as Categorias de Impacto fica por conta das categorias atreladas às questões de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade em Águas Doces, em que a relevância do plantio de cana supera a contribuição de 90%. A preponderância das interferências ambientais da fase agrícola somente não se manifesta na Depleção da Camada de Ozônio. Para as demais fases deste ciclo de vida, os ápices de relevância para a fermentação do etanol e do transporte do produto ocorrem, respectivamente, nas categorias de Eutrofização e Depleção da Camada de Ozônio.

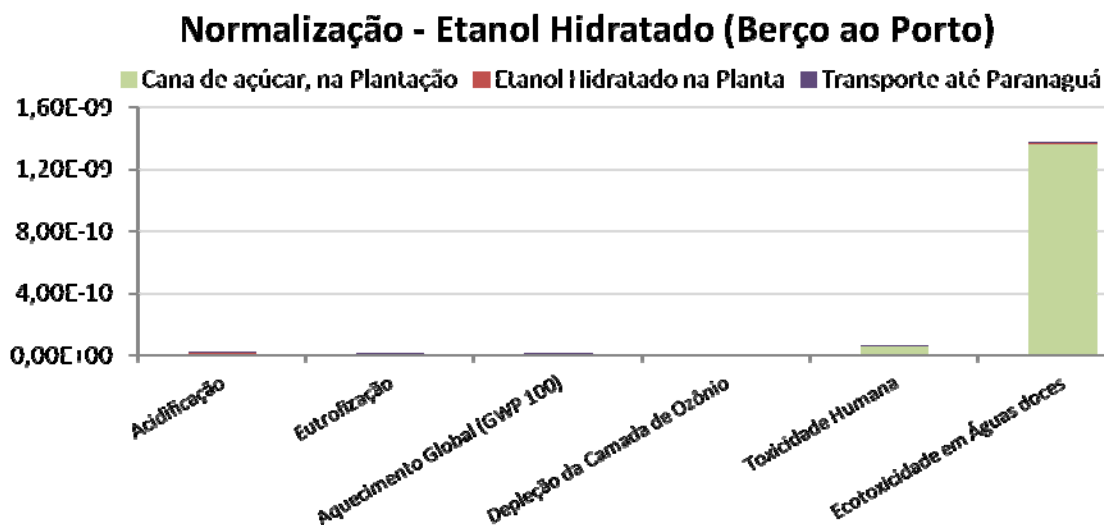
Figura 17 – Etapa de caracterização do impacto do ciclo de vida do etanol hidratado – do berço ao porto



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Por se tratarem de resultados do tipo “ponto médio” é a partir da análise da Figura 18 que se aumenta a certeza de que a fase agrícola seja aquela que deva receber a atenção para eventuais melhorias e ações mitigadoras do impacto ambiental.

Figura 18 – Normalização dos impactos ambientais, considerando o impacto médio de um cidadão, sob perspectiva global de 1995



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Embora não seja uma fase obrigatória da AICV, segundo a série de Normas ISO 14040, até pela inexistência de fatores de normalização nacionais, na sequência do Relatório, será respeitada uma ordem decrescente de relevância dos resultados relatados na Normalização. Desta forma, realizam-se análises de contribuição acerca das categorias de impacto expostas.

Inicialmente, porém, cumpre definir alguns conceitos a serem utilizados na interpretação de resultados:

- Limite de Corte de Relevância: é assim denominado porque serão disponibilizados apenas os processos cuja contribuição seja maior ou igual ao limite estabelecido (0,3% para ecotoxicidade em águas doces, por exemplo) do total de impacto ambiental em questão. Ou seja, trata-se de um critério de corte para facilitar a interpretação e visualização de uma rede ou árvore. Caso este limite não seja definido, tem-se uma

nuvem de processos conectados uns aos outros, o que dificulta muito a interpretação;

- Diagramas de Sankey: é um tipo específico de diagrama de fluxo, em que a largura das setas é mostrada proporcionalmente à quantidade de fluxo. Em outras palavras, as setas que ligam um processo ao outro são representativas do fluxo existente entre estes processos e esta forma de visualização facilita a interpretação em rede;
- Análise em Rede: auxilia na interpretação dos impactos ambientais e na identificação de quais processos ou etapas do ciclo de vida são mais contribuintes aos resultados sob avaliação. Tem-se informações da quantidade utilizada deste processo, do nome do processo e da contribuição que exerce nos diferentes níveis horizontais expostos na figura. Deve-se analisar a figura, considerando-se os níveis horizontais que a compõem. Mas tais níveis não necessariamente somarão 100%, em decorrência do limite de corte estabelecido. Assim, quando se estuda a Rede de Ecotoxicidade em Águas Doces (cujo limite de corte é 0,3%), por exemplo, conclui-se que a fase agrícola tem uma participação de 99,2% no impacto ambiental desta categoria para o ciclo de vida do etanol hidratado do berço ao porto;
- Total de Todos os Processos: é o somatório de todos os impactos ao longo do ciclo de vida inteiro (fases agrícola, industrial e de transportes); e,
- Processos Restantes: são representados por aqueles que foram excluídos em decorrência do limite de corte estabelecido.

4.3.2.1 Análise de Contribuição – Ecotoxicidade em Águas Doces

A análise aprofundada desta categoria de impacto revela que a utilização de defensivos agrícolas é o principal fator à contribuição da etapa de plantio para o resultado encontrado. Uma avaliação da Tabela 16 e da Figura 19 pode fazer crer que os processos de fim de vida atrelados à infraestrutura, à produção de energia elétrica e à produção dos maquinários agrícolas são as etapas do ciclo de vida mais contribuintes à Ecotoxicidade em Águas doces.

Entretanto, identifica-se a massiva contribuição das substâncias *Metolacoloro*, *Carbofuran*, *Atrazina* e *Diuron* para este impacto, em especial, quando da confrontação do inventário da cana-de-açúcar com os fatores de caracterização do método CML 2000.

Tabela 16 – Relação dos processos mais relevantes à Ecotoxicidade em Águas Doces

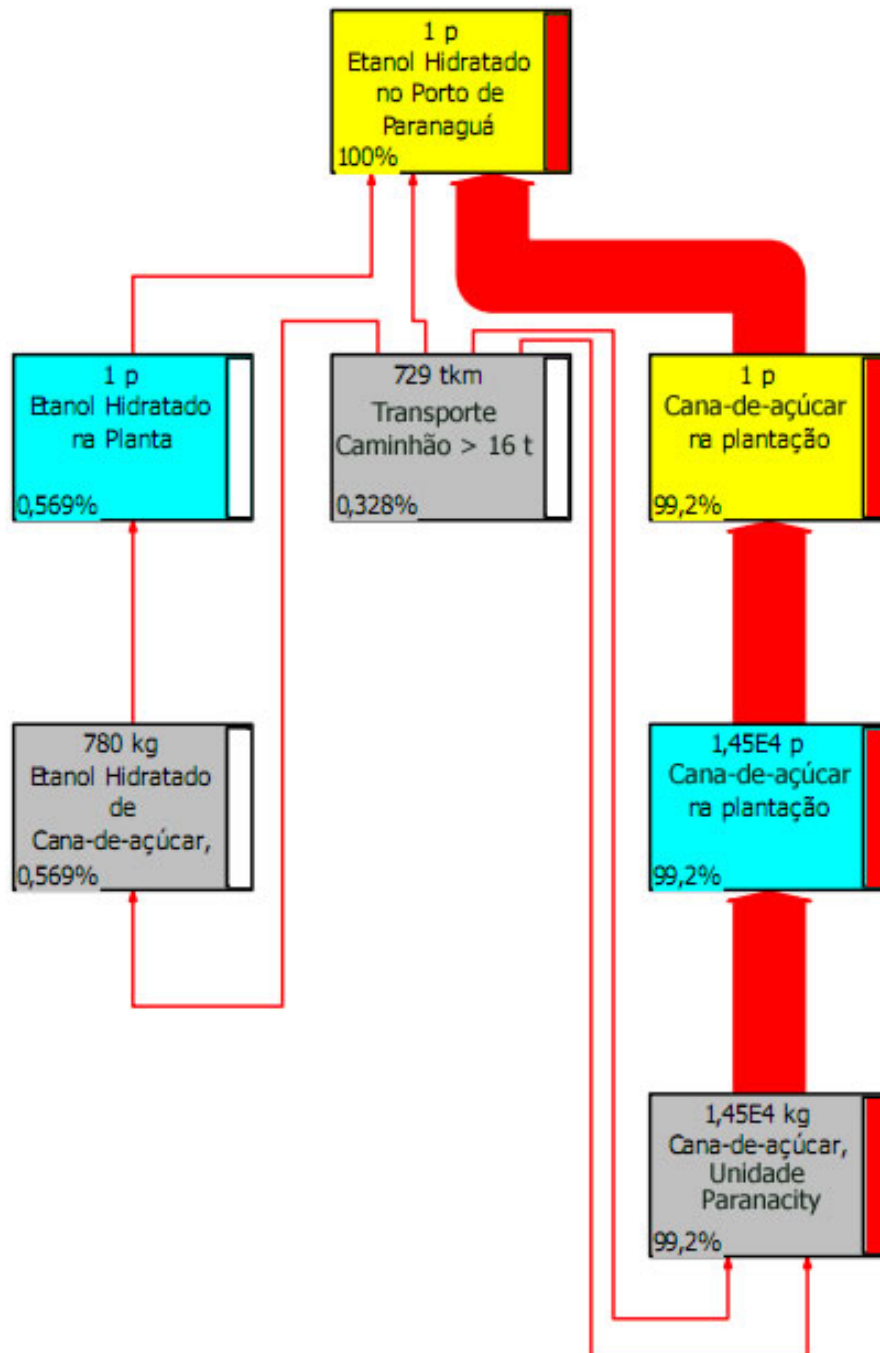
Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg 1,4-DB eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	2789,8881	100
Processos restantes	2760,85483	99
Destinação, cinzas de madeira	7,0428178	0,252
Destinação, resíduo sulfídrico	5,2578636	0,188
Destinação, escória de fundição de níquel	4,9806339	0,179
Destinação, resíduo de mineiração de lignita	4,9228621	0,176
Destinação, resíduo de mineiração de carvão	3,1240555	0,112
Destinação, lodo de bauxita	1,9045189	0,0683
Destinação, escória de aço	1,8004872	0,0645

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Os resultados disponíveis constantes na Figura 19 indicam que os impactos à Ecotoxicidade em Águas Doces da fase agrícola são 174 vezes maior que aqueles oriundos da fase industrial. Caso fertilizantes fossem utilizados no plantio, seria possível verificar ainda a respectiva contribuição destas substâncias à Ecotoxicidade em Águas Doces, fato comum segundo a literatura disponível. A não contabilização da produção de pesticidas e demais químicos, influi igualmente sobre estes resultados.

De acordo com a Figura 19, confirmam-se estudos de Ometto (2005), em que a ecotoxicidade hídrica pode ser causada principalmente, pelas atividades de preparo do solo e tratos culturais, devido ao uso intensivo de agrotóxicos no solo, que apresentam a possibilidade de percolação ou lixiviação para os recursos hídricos.

Figura 19 - Relação da contribuição de cada etapa à Ecotoxicidade em Águas Doces, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 0,3%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Segundo Bortoluzzi *et al* (2006), a transferência de moléculas de agrotóxicos dos ecossistemas terrestres aos aquáticos é uma constante, sobretudo em áreas agrícolas devido ao uso de quantidades elevadas e de tipos diferentes de princípios ativos por área e às altas taxas de erosão do solo. A poluição oriunda da

atividade agrícola é considerada do tipo difusa, de difícil identificação, monitoramento e, conseqüentemente, controle.

4.3.2.2 Análise de Contribuição – Toxicidade Humana

Em decorrência da similaridade desta categoria de impacto com a Ecotoxicidade em Águas doces e como pode ser observado nos gráficos anteriores, novamente têm-se processos ligados ao plantio como os mais contribuintes aos resultados. Assim, o emprego de produtos químicos como *Carbofuran* e *Diuron* desempenha expressiva participação para os resultados. No entanto, agora nota-se uma maior influência da etapa industrial, já que na listagem de contribuição dos processos observa-se, com maior influência, a infraestrutura da planta de fermentação, conforme aponta a Tabela 17.

Tabela 17 - Relação dos processos mais relevantes à Toxicidade Humana

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg 1,4-DB eq.)	Porcentagem
Total de todos os processos	3262,0318	100,000
Processos restantes	3189,4832	97,776
Ferro Cromo Alto Carbono	21,2570	0,652
Alumínio, primário	9,5026	0,291
Ânodo, eletrólise de alumínio	9,2513	0,284
Destinação, cinzas de madeira	7,7688	0,238
Destinação, resíduo sulfídrico	7,4539	0,229
Cobre, primário	6,9332	0,213
Transporte, trator e trailer	6,5113	0,200
Descarga de água após tratamento	3,8706	0,119

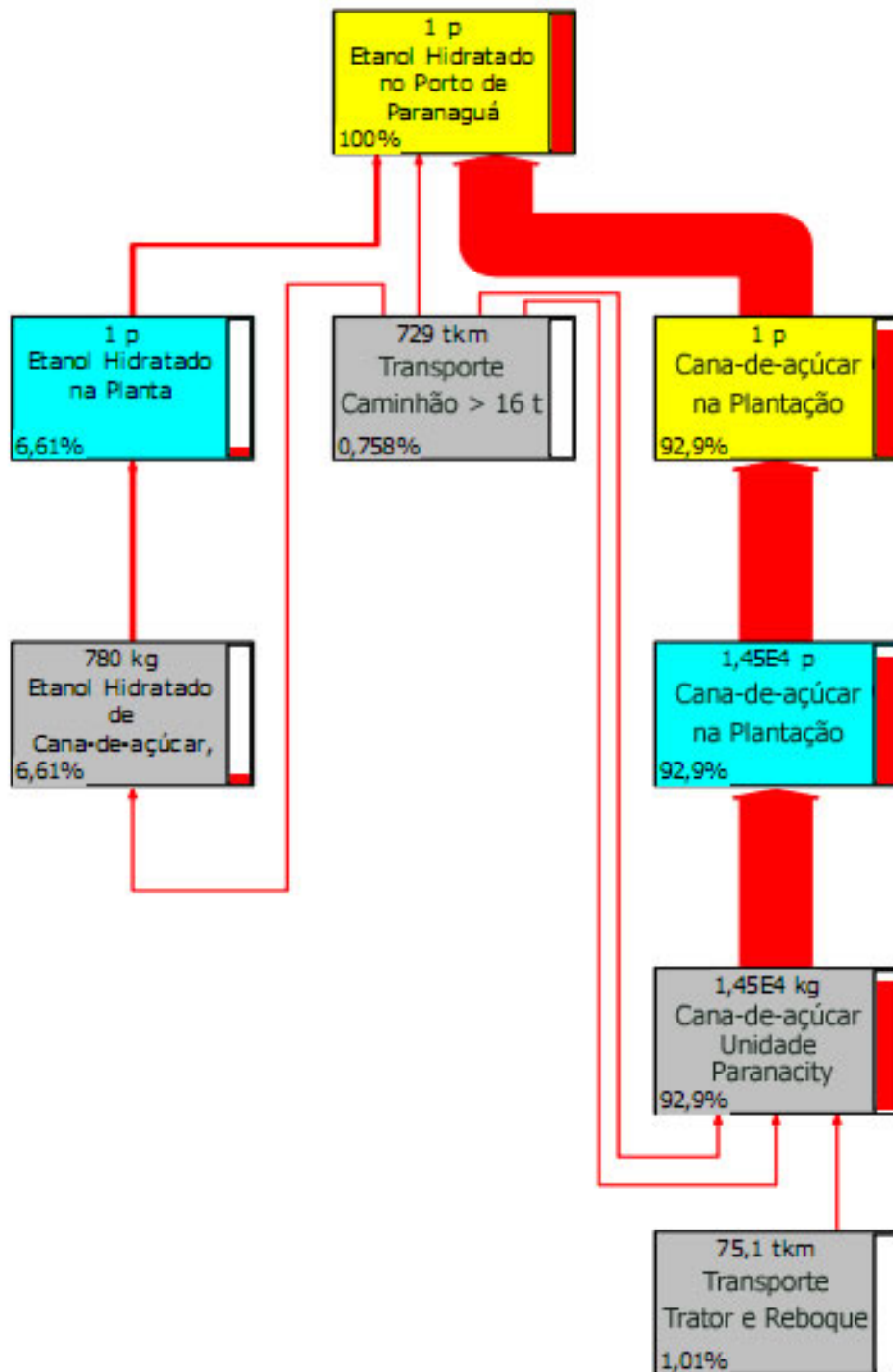
Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A infraestrutura necessária ao ciclo de vida em análise também exerce um importante papel à Toxicidade Humana, já que a produção do maquinário e da planta se faz presente. O diferencial, nesta situação, é a perda de relevância dos resíduos de fontes energéticas, aparentemente substituídos pela destinação de cinzas. A Figura 20 apresenta a relação das etapas do ciclo de vida do etanol hidratado com esta categoria.

Confirmando Ometto (2005), os resultados dos potenciais de Toxicidade Humana das atividades do ciclo de vida do etanol hidratado, indicam a via aérea a de maior contribuição, devido, principalmente, à atividade de colheita da

cana, pelos gases tóxicos emitidos na queimada de cana, incluindo o material particulado emitido, e pelo uso de diesel nos caminhões, nas máquinas agrícolas e nos ônibus.

Figura 20 – Relação da contribuição de cada etapa à Toxicidade Humana, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 0,69%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Segundo Trapé (2010), os agrotóxicos podem determinar efeitos sobre a saúde humana, dependendo da forma e tempo de exposição e do tipo de produto por sua toxicidade específica. De acordo com o tempo de exposição, podem determinar três tipos de intoxicação: aguda, sobreaguda e crônica. O maior número de casos de intoxicação se concentra entre 20 e 40 anos, sendo que as doenças causadas pelos agrotóxicos representam um grave problema de saúde pública.

4.3.2.3 Análise de Contribuição - Acidificação

O consumo de combustíveis fósseis pesados é dominante para os impactos ambientais observados nesta categoria de impacto. Razão pela qual se visualiza os processos ligados ao transporte e à queima de diesel e gás natural, além da utilização de ácido sulfúrico na planta de fermentação, conforme Tabela 18. A amônia, outra substância vital para este fenômeno, provém, sobretudo, dos processos iniciais para a extração do minério de ferro, sendo, especificamente a substância com maior impacto ambiental à Acidificação.

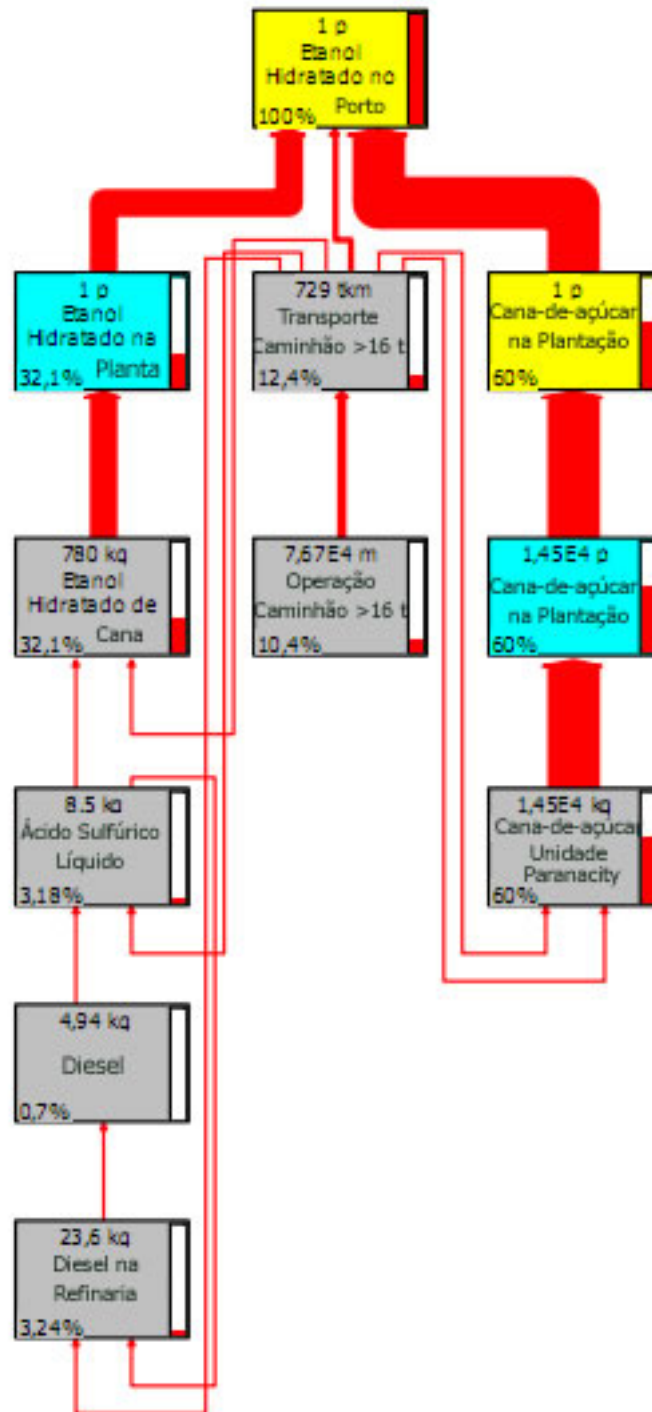
Tabela 18 – Relação dos Processos mais relevantes à Acidificação

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg SO ₂ eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	4,2428	100
Processos restantes	3,5435	83,518
Operação de caminhão >16t	0,3431	8,086
Gás natural rico em Enxofre, queimado em flare	0,0703	1,657
Transporte, trator e trailer	0,0679	1,600
Enxofre secundário, na refinaria	0,0662	1,561
Ácido Sulfúrico, líquido	0,0622	1,467
Operação de caminhão 3,5-16t	0,0328	0,774
Operação, petroleiro transoceânico	0,0291	0,685
Diesel, queimado em máquina	0,0277	0,652

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A Figura 21, considerando um limite de corte de relevância de 3,15%, ilustra a Rede do ciclo de vida deste produto para a Acidificação e ratifica as análises feitas, estando também de acordo com o gráfico de Caracterização.

Figura 21 – Relação da contribuição de cada etapa à Acidificação, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 3,15%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Alinhado com Ometto (2005), observa-se que a fase agrícola responde por 60% de contribuição aos impactos desta categoria, com destaque para a colheita da cana, que se configura no maior potencial de impacto para a acidificação. Isso se

deve, principalmente, aos óxidos de nitrogênio (NOx) emitidos durante a queimada da cana (Figura 21).

4.3.2.4 Análise de Contribuição - Eutrofização

A eutrofização, que afeta sistemas aquáticos e a qualidade destes ecossistemas em virtude do excesso de nutrientes e matéria orgânica, tem origem bastante diversificada no ciclo de vida em estudo. Denota-se a presença de processos de infraestrutura, de transporte e relacionadas à queima do bagaço e respectivas cinzas. A Tabela 19 elenca os processos mais representativos.

Tabela 19 – Relação dos Processos mais relevantes à Eutrofização

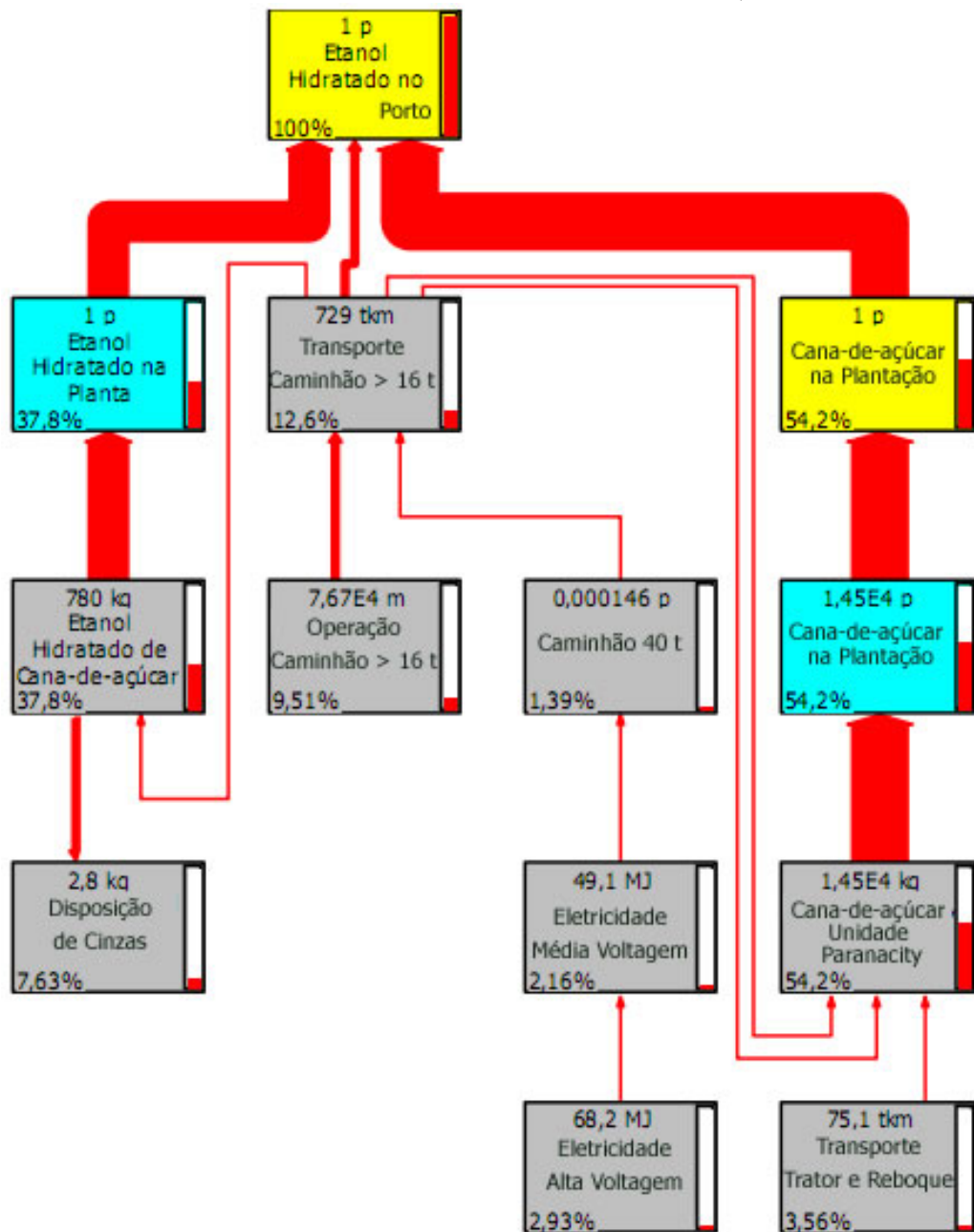
Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	1,1023	100
Processos restantes	0,82366	74,721
Operação de caminhão >16t	0,088529	8,031
Destinação, cinzas de madeira	0,084071	7,627
Destinação, resíduo de mineiração de lignita	0,033391	3,029
Destinação, resíduo sulfídrico	0,020474	1,857
Destinação, resíduo de mineiração de carvão	0,019987	1,813
Transporte, trator e trailer	0,016613	1,507
Operação de caminhão 3,5-16t	0,0084707	0,768
Óleo cru, produção onshore	0,0071187	0,646

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A ausência de fertilizantes químicos no plantio da cana representa um grande alívio para os impactos desta categoria, visto que esses produtos são compostos essencialmente por substâncias, como Fósforo e Nitrogênio, que ao serem lixiviadas, limitam a quantidade de oxigênio disponível.

A notável representatividade dos processos de transporte e infraestrutura diz respeito à destinação dos resíduos de exploração dos recursos energéticos necessários à produção de combustíveis fósseis pesados, conforme pode ser analisado a partir da Figura 22.

Figura 22 – Relação da contribuição de cada etapa à Eutrofização, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 3,05%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Ratificando as conclusões de Ometto (2005), observam-se na Figura 22 que as atividades que mais podem contribuir para a eutrofização são as atividades que incorporam nutrientes ao solo durante a fase agrícola, ou seja, os tratos culturais, a fertirrigação e o plantio, aumentando a produtividade biológica, permitindo periódicas proliferações de algas, que tornam a água turva e com isso podem causar deficiência de oxigênio pelo seu apodrecimento, aumentando sua

toxidez para os organismos que nela vivem (como os peixes, que aparecem mortos junto a espumas tóxicas).

4.3.2.5 Análise de Contribuição – Aquecimento Global

Como esperado, os processos de transporte são responsáveis por mais de 25% dos impactos ao Aquecimento Global. Também se observa que a cal virgem, utilizada tanto na planta de fermentação quanto na produção de *clinker* (cimento numa fase básica de fabrico), e o próprio *clinker* estão presentes dentre os itens mais representativos, conforme Tabela 20.

Tabela 20 – Relação dos Processos mais relevantes ao Aquecimento Global

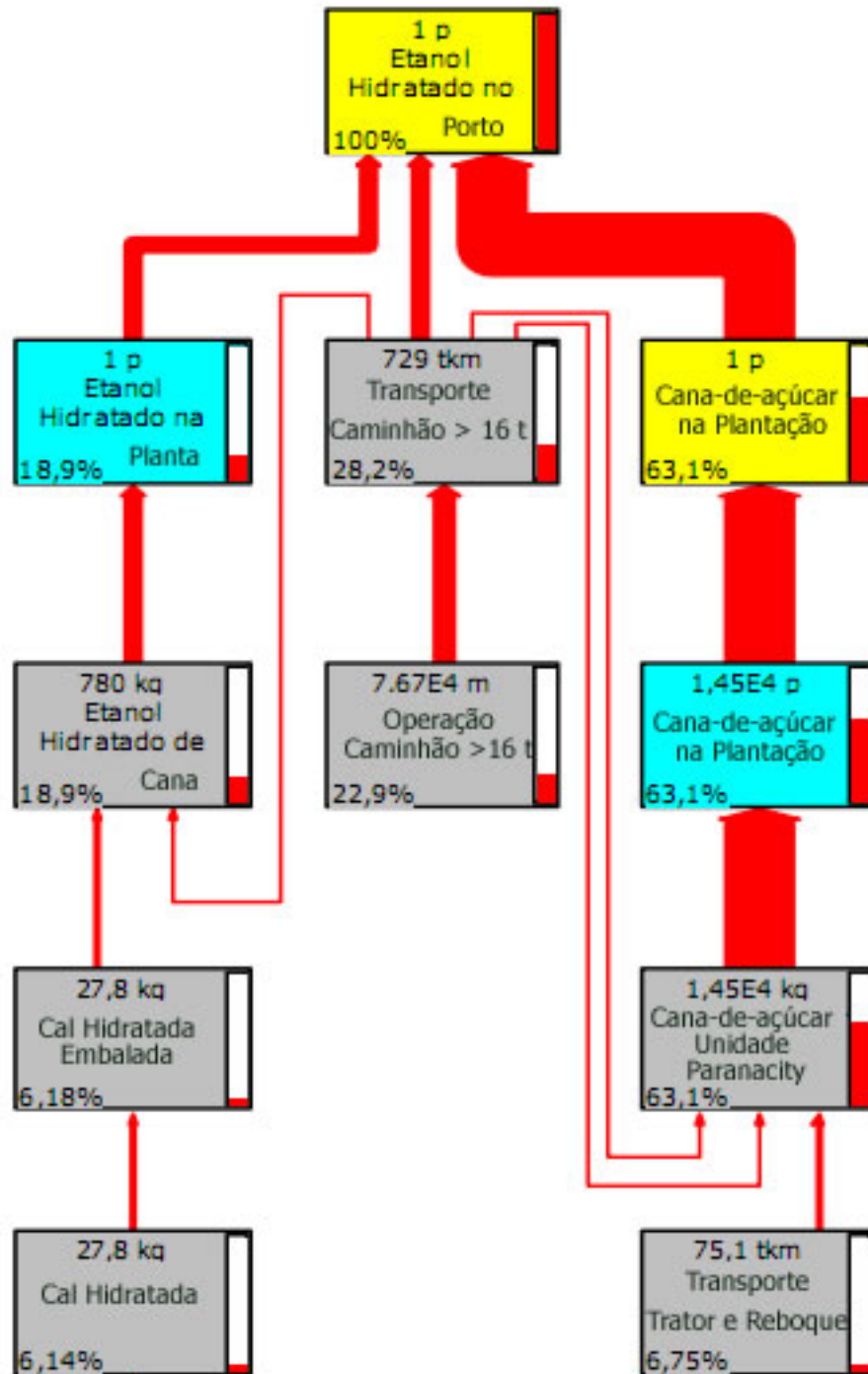
Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg CO2 eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	343,2811	100
Processos restantes	221,67683	64,576
Operação de caminhão >16t	66,300663	19,314
Cal Virgem	20,298965	5,913
Transporte, trator e trailer	10,365577	3,020
Operação de caminhão 3,5-16t	6,639749	1,934
Ferro gusa	5,239086	1,526
Gás natural pobre em Enxofre, queimado em flare	4,514208	1,315
Clinker	4,4650015	1,301
Diesel, queimado em máquina	3,7810470	1,101

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Tanto o *clinker*, quanto o ferro gusa, estão ligados à infraestrutura necessária a este ciclo de vida, representado na Figura 23 para a categoria de impacto de aquecimento global.

Confirmando estudos de Ometto (2005), a atividade de colheita da cana-de-açúcar é a atividade de maior potencial para o efeito estufa, devido, principalmente, aos gases hidrocarbonetos, metano e monóxido de carbono, emitidos durante a queimada, e ao dióxido de carbono (CO₂), emitido pelo uso de diesel nos equipamentos agrícolas, nos ônibus e nos caminhões (Figura 23).

Figura 23 – Relação da contribuição de cada etapa ao Aquecimento Global, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 5%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A transformação no uso da terra também costuma ser um fator de impacto para essa categoria. É importante ressaltar que as áreas de cana-de-açúcar já foram utilizadas por outras culturas e que não são responsáveis pela transformação de floresta nativa em cultivo.

De acordo com estudos do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Universidade de São Paulo (USP), referentes às regiões metropolitanas de Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo, estimou-se que os gases tóxicos emitidos na atmosfera provocando a má qualidade do ar custa em torno de US\$ 1 bilhão aos cofres públicos brasileiros a cada ano, principalmente com as mortes ou tratamento de doenças associadas direta ou indiretamente à poluição. O ranking do estudo mostra São Paulo (US\$ 300 milhões) na ponta, seguido por Rio de Janeiro (US\$ 250 milhões), Porto Alegre (US\$ 180 milhões), Belo Horizonte (US\$ 150 milhões), Curitiba (US\$ 140 milhões) e Recife (US\$ 10 milhões) (OLIVEIRA, 2008).

4.3.2.6 Análise de Contribuição – Depleção da Camada de Ozônio

É na categoria de impacto da depleção da camada de Ozônio que o consumo de combustíveis fósseis exprime a maior contribuição, conforme pode ser depreendido da Figura 24. O consumo de óleo cru, pertencente ao ciclo de vida das operações de caminhões, representa mais de 95% ao potencial de depleção da camada de Ozônio. Na sequência, encontram-se o transporte de gás natural, via gasoduto, a utilização de urânio, na matriz energética europeia, em virtude do emprego da biblioteca de inventários *ecoinvent*, e do cloro gasoso, usado na fermentação do etanol. No entanto, a diferença de contribuição de tais substâncias para o consumo de óleo cru é significativa, como exposto na Tabela 21.

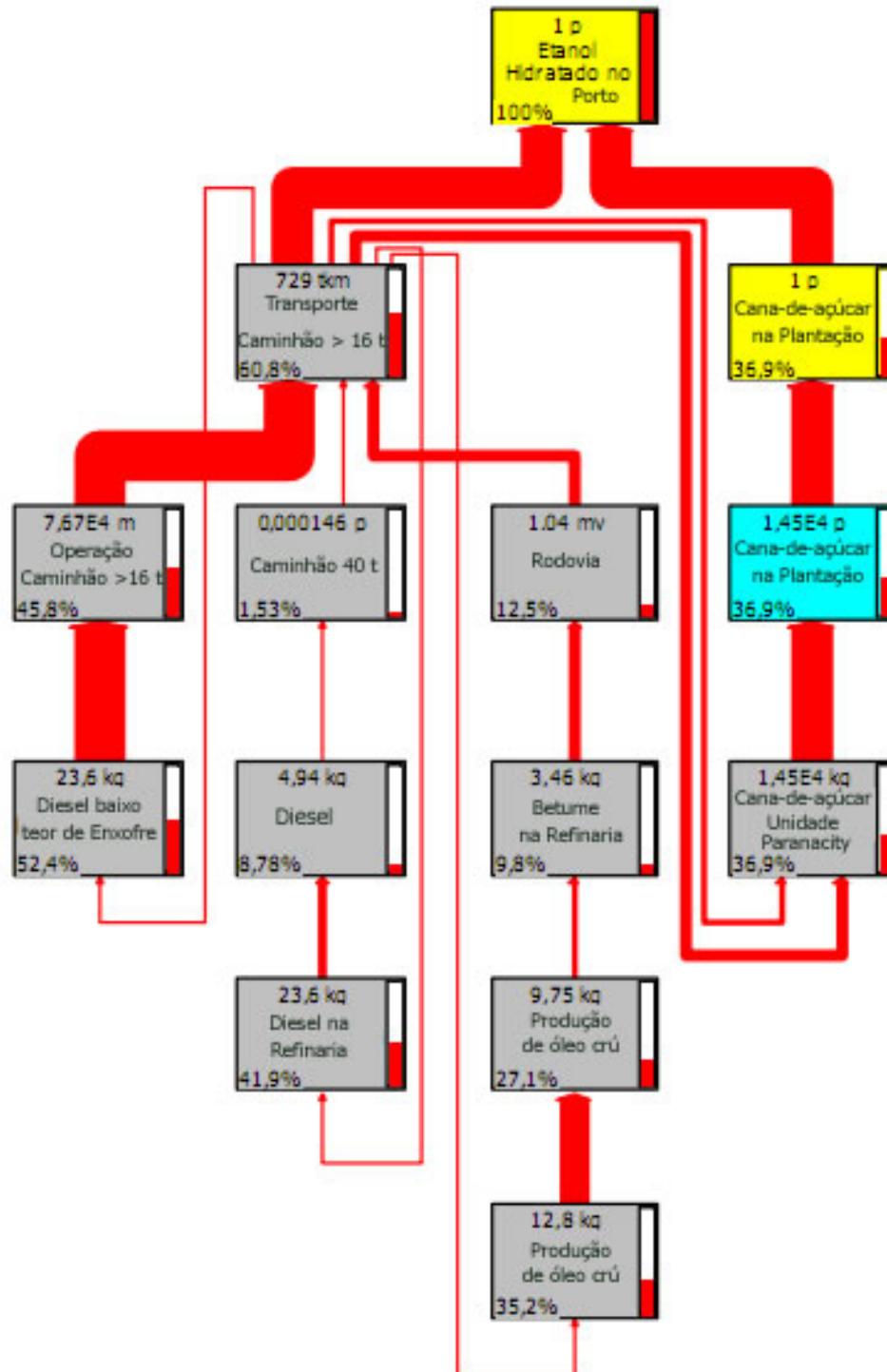
Tabela 21 – Relação dos Processos mais relevantes à Depleção da Camada de Ozônio

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg CFC-11 eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	2,56E-05	100
Processos restantes	3,08E-07	1,203
Óleo cru, produção onshore	2,43E-05	95,088
Transporte de gás natural, gasoduto	6,30E-07	2,461
Urânio enriquecido	2,44E-07	0,953
Cloro gasoso, célula de mercúrio	7,56E-08	0,295

Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

A Figura 24 demonstra a representatividade dos processos de transporte (60,8%) ao total de impactos ambientais que afetam a Camada de Ozônio.

Figura 24 – Relação da contribuição de cada etapa à Depleção da Camada de Ozônio, segundo Rede, considerando limite de corte de relevância de 35%



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

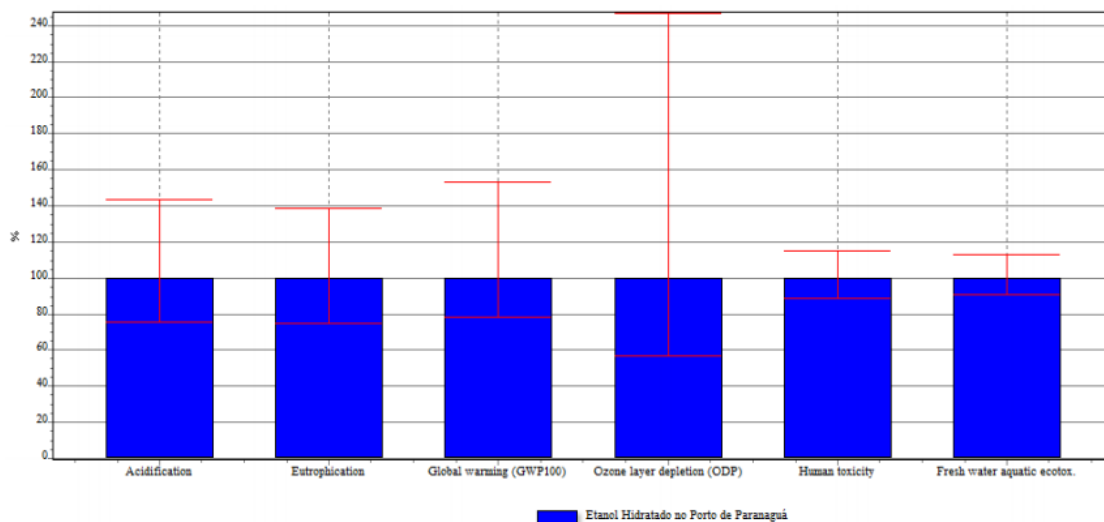
Além dos processos de transporte, a fase agrícola representa 36,9% do total de impactos ambientais que afetam a Camada de Ozônio, com destaque para a colheita da cana, principalmente, por causa dos hidrocarbonetos e ao monóxido de carbono emitidos durante as queimadas.

4.3.3 Análise de Incerteza

A Análise de Incerteza de Monte Carlo leva em consideração as informações e características estatísticas dos dados coletados. Como é comum não se dispor de uma série ou de um universo razoável de medições das informações que compõem um ICV, aplica-se a Matriz de Pedigree, também com o objetivo de a incerteza do estudo ser contemplada e analisada. Os gráficos, portanto, em virtude da escassez de dados, tornam-se viáveis graças a matriz mencionada, que pondera características como correlação geográfica, tecnológica e temporal. Os resultados da análise são interpretados com o auxílio de barras horizontais indicando a variação que poderia ser obtida, dadas as incertezas dos dados. Tomando como exemplo a Categoria de Impacto de Eutrofização, conclui-se que o resultado poderia ser cerca de 40% maior ou 20% menor, em decorrência da natureza das informações utilizadas.

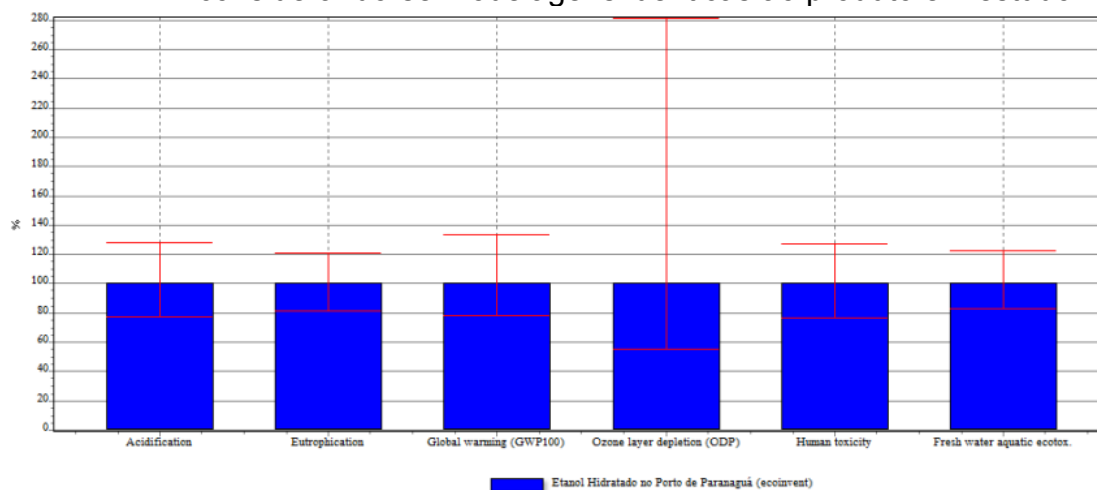
A Análise de Incerteza aponta para resultados semelhantes aos da biblioteca de inventários *ecoinvent*, conforme Figuras 25 e 26. Esta constatação já era esperada visto que a maior parte dos dados utilizados estava disponível nesta biblioteca.

Figura 25 – Análise de Monte Carlo para o Etanol Hidratado do Grupo Santa Terezinha



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Figura 26 - Análise de Monte Carlo para o Etanol Hidratado do *ecoinvent*, considerando-se modelagens idênticas ao produto em estudo



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

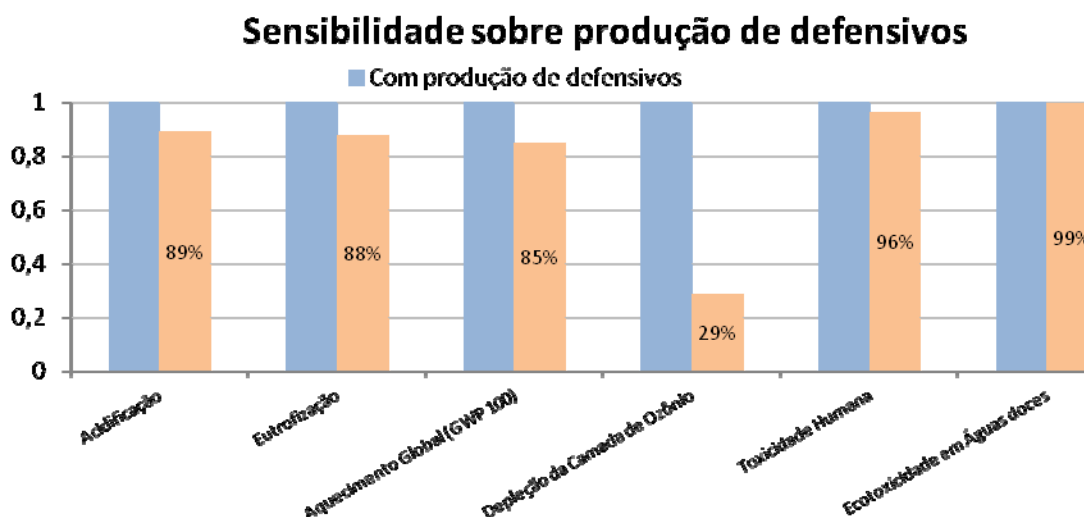
Em 50% das Categorias de Impacto houve redução da incerteza, porém, para as demais ocorreu um aumento. Àquelas em que houve aumento, recomenda-se pelo refinamento das informações coletadas, com destaque para a Acidificação, Eutrofização e Aquecimento Global. Os processos e emissões mais relevantes nestas categorias devem ser confrontados com a avaliação do impacto e com os respectivos fatores de caracterização para averiguar quais melhorias podem ser executadas na coleta.

4.3.4 Análise de Sensibilidade

4.3.4.1 Inserção da Produção de Defensivos Químicos

A contemplação da produção de pesticidas, nematicidas, inseticidas e formicidas representa um fator de extrema relevância conforme a Figura 27. Em mais de 60% das Categorias de Impacto analisadas, a alteração dos resultados supera 10% de diferença, com destaque para a Depleção da Camada de Ozônio, cuja diferença ultrapassa 70%.

Figura 27 – Análise de Sensibilidade para a produção de defensivos agrícolas

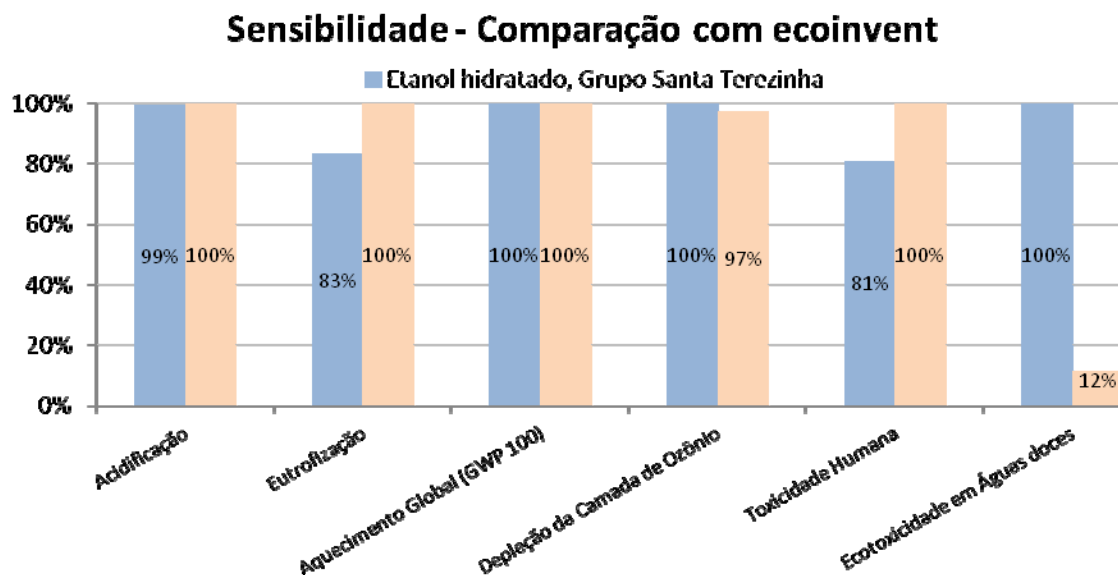


Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Diante dos resultados, recomenda-se pela consideração desta etapa do ciclo de vida.

4.3.4.2 – Comparação com os Inventários Disponíveis no *Ecoinvent*

Figura 28 – Análise de Sensibilidade para comparação com ecoinvent



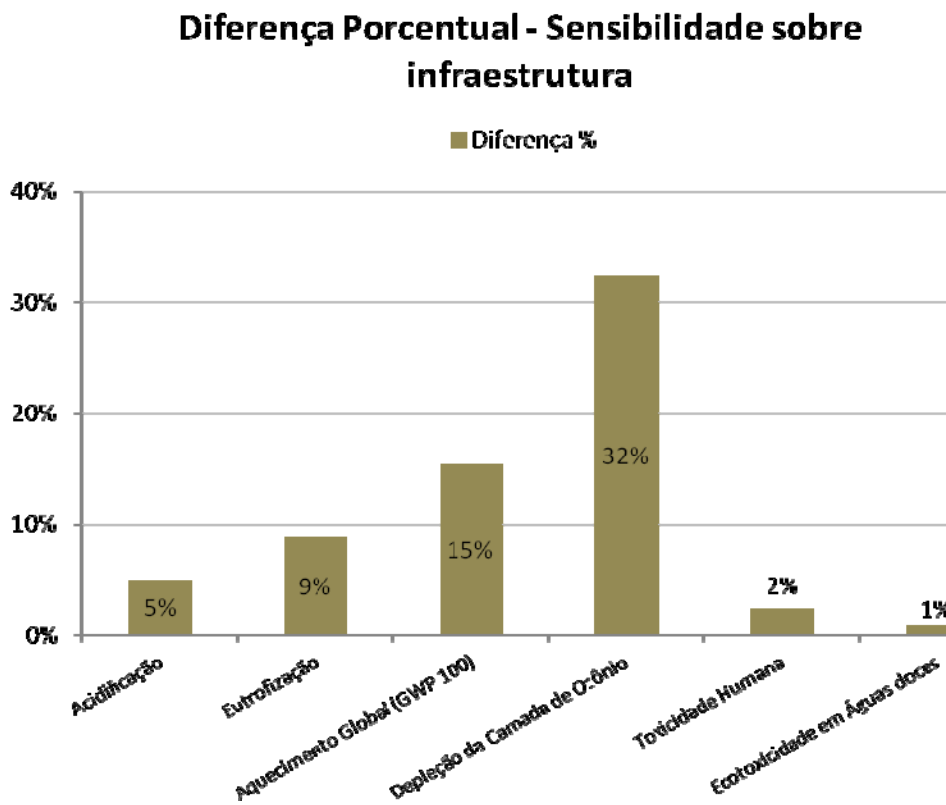
Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Respeitando-se preceitos básicos de função, unidade funcional e fluxo de referência, a comparação dos resultados com outros inventários é sempre salutar, pois permite posicionar o estudo atual em relação a um referencial. Para as Categorias de Impacto Acidificação, Eutrofização, Aquecimento Global, Depleção da Camada de Ozônio e Toxicidade Humana, a comparação traz resultados positivos, todavia, para a categoria Ecotoxicidade em Águas Doces a diferença de resultado é considerável. Após a análise, chega-se a conclusão de que a baixa produtividade da área e a utilização das substâncias *Metolacoloro*, *Carbofurano*, *Atrazina* e *Diuron* são os responsáveis pela diferença encontrada.

4.3.4.3 Exclusão dos Processos de Infraestrutura

Ao se desconsiderar os processos relacionados à infraestrutura percebe-se que há variações significativas aos resultados nas Categorias de Impacto de Depleção da Camada de Ozônio e Aquecimento Global, conforme exposto na Figura 29.

Figura 29 – Exposição da diferença porcentual encontrada nos resultados ao se desconsiderar os processos de infraestrutura.



Fonte: Elaborado a partir de dados da pesquisa

Apesar de não ser constatada uma variação significativa, nas demais categorias, recomenda-se considerar estes processos na avaliação do ciclo de vida do etanol hidratado fermentado na Unidade Paranacity.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa procurou analisar por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) os aspectos econômicos, sociais e ambientais concernentes à produção do etanol combustível, a partir da cana-de-açúcar, na Unidade Paracity do Grupo Santa Terezinha, trabalhando com os referenciais teóricos da Economia Ecológica. Para atingir esse objetivo, verificou-se a evolução econômico-social-ambiental do setor sucroenergético no Brasil, Paraná e em Paracity-PR.

Nos aspectos econômicos foi possível constatar uma expressiva expansão da agroindústria canavieira, com aumentos significativos desde os anos 1970, para a área plantada, cana-de-açúcar processada, produtividade (toneladas/ha), produção de açúcar e etanol, geração de emprego e renda, arrecadação tributária, geração de divisas e investimentos em P&D. A região Centro-Sul responde por 89,7% da produção nacional de cana-de-açúcar, considerando a safra 2010/11, com destaque para o Estado de São Paulo, que ocupa a primeira colocação, com 57,5% do total produzido.

Apesar de o Paraná ocupar a segunda posição no *ranking* nacional na produção canavieira, levando-se em conta a média do período 2000-2010, verifica-se uma mudança espacial recente, motivadas pela elevação dos custos da terra; pela relativa saturação das áreas disponíveis em regiões tradicionalmente produtoras; pelos benefícios fiscais, sobretudo em novas fronteiras e pela desregulamentação do setor sucroalcooleiro, em que o Paraná caiu da segunda para a quarta posição (*ranking* da safra 2010/11).

A cana-de-açúcar configura-se num dos principais produtos agrícolas produzidos no Paraná, com concentração espacial na região noroeste do Estado, que apresenta condições edafo-climáticas favoráveis. Os impactos econômicos desse setor afetam 126 municípios, gerando 74 mil empregos diretos, por meio de 30 unidades agroindustriais canavieiras, destacando-se o Grupo Santa Terezinha.

A Unidade Paracity do Grupo Santa Terezinha emprega diretamente cerca de 40% do pessoal ocupado residente em Paracity-PR, evidenciando a importância econômica e social dessa unidade agroindustrial na geração de emprego e renda, contribuição para a formação do Produto Interno Bruto (PIB) municipal e para a arrecadação tributária.

Atuando num ambiente de livre mercado, a agroindústria canvieira no Brasil passou a aderir ao paradigma tecnológico como estratégia de sobrevivência e garantia de competitividade, buscando ganhos econômicos e ambientais. Os aspectos sociais estão diretamente relacionados com esse novo paradigma e aos aspectos ambientais, refletidos na necessidade de redução nas emissões dos gases do efeito estufa (GEE).

O advento da Lei n. 11.241, de 2002, com vistas a reduzir os impactos ambientais e os prejuízos à saúde pública ocasionados pela queima que antecede o corte da cana, estabeleceu que até 2021 tal prática deva ser encerrada em território nacional, exceto para as áreas não propícias ao corte mecanizado, assim como as com declive superior a 12% e terrenos pedregosos, em que o prazo foi estendido até 2031.

Em relação aos aspectos sociais, portanto, a substituição da colheita manual pela mecanizada poderá provocar o custo social do desemprego de trabalhadores braçais, mesmo que parte deles seja absorvida pelo processo mecanizado. Por essa razão, alguns especialistas argumentam que cabe ao Governo criar mecanismos como cursos de reciclagem e qualificação desses trabalhadores para facilitar a inserção dos mesmos em outras atividades econômicas.

A desregulamentação do setor sucroalcooleiro implicou a busca constante por inovações tecnológicas, buscando aumento na produtividade, redução de custos e agregação de valor às atividades agrícola, industrial e administrativa. No bojo da revolução tecnológica, destacam-se os investimentos em biotecnologias que podem contribuir para a modernização da agroindústria canvieira nos segmentos agrícola e industrial.

Entre as inovações tecnológicas também se destaca as novas técnicas na área de correção do solo e fertilização, com o aproveitamento da vinhaça na ferti-irrigação e da torta de filtro como adubo orgânico. O principal coproduto resultante do processamento da cana é o bagaço, cujo potencial energético tem atraído crescente interesse nos últimos anos, em que alguns apostam que o mesmo no futuro poderá se transformar no principal produto da cana-de-açúcar. No caso da Unidade Paranacity, na safra 2011, a co-geração de energia elétrica foi responsável pela produção de 279.188.840 Kw, sendo 71% consumido nas atividades da

Unidade e o excedente (29%) exportado para a companhia responsável pela distribuição de energia elétrica no Estado.

O apelo ambiental (redução das emissões de CO₂) reforçado pela necessidade de redução de custos operacionais tem levado grandes grupos capitalistas a investirem no desenvolvimento e aperfeiçoamento do bio-etanol, caso do setor de aviação, que busca o desenvolvimento de um bioquerosene a partir da cana-de-açúcar.

Quanto aos aspectos ambientais do ciclo de vida do etanol hidratado produzido na Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha, mensurado pelo Método CML 2000, da fase agrícola ao Porto de Paranaguá-PR, conclui-se que a fase agrícola deste produto, representa, relativamente o maior impacto ambiental potencial quando confrontada com a etapa industrial e de transporte do biocombustível ao Porto de Paranaguá.

Os resultados indicam que o destaque para as categorias de impacto fica por conta das categorias atreladas às questões de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade em Águas Doces, em que a relevância do plantio da cana-de-açúcar supera a contribuição de 90%. As interferências ambientais da fase agrícola somente não se manifestam na Depleção da Camada de Ozônio. Para as demais fases deste ciclo de vida, os ápices de relevância para a fermentação do etanol e do transporte do produto ocorrem, respectivamente, nas categorias de Eutrofização e Depleção da Camada de Ozônio.

Para a categoria de impacto Ecotoxicidade em Águas Doces os resultados indicaram que os impactos da fase agrícola são 174 vezes maior que os oriundos da fase industrial, sendo o principal fator para tal desempenho a utilização massiva de defensivos agrícolas.

A categoria de impacto Toxicidade Humana em decorrência da similaridade com o categoria Ecotoxicidade em Águas doces, tem os processos ligados ao plantio da cana-de-açúcar como os maiores contribuintes aos resultados de impacto, sofrendo também uma influência da etapa industrial, pela infraestrutura da planta de fermentação.

Em relação à categoria de impacto Acidificação, observou-se que o consumo de combustíveis fósseis é dominante para os resultados apresentados, destacando-se os processos ligados ao transporte e à queima de diesel e gás natural, além da utilização de ácido sulfúrico na planta de fermentação.

A categoria de impacto Eutrofização que afeta sistemas aquáticos e a qualidade destes ecossistemas, revelou-se impactante nos processos de infraestrutura, de transporte e relacionados à queima do bagaço e respectivas cinzas. A ausência de fertilizantes químicos no plantio da cana-de-açúcar, na safra 2011, pela Unidade Paranacity do Grupo Santa Terezinha representou um alívio para os impactos desta categoria.

Em se tratando da categoria de impacto Aquecimento Global, os processos de transporte foram responsáveis por mais de 25% dos impactos, com destaque também para o uso da cal virgem na planta de fermentação e na produção de clínquer, sendo os mais impactantes.

A categoria de impacto Depleção da Camada de Ozônio tem nos processos de transporte a maior representatividade, tendo em vista o consumo de combustíveis fósseis.

Em última análise, pelos resultados apresentados nas categorias de impacto, o estudo confirma a hipótese de que o etanol hidratado pode ser considerado um combustível renovável, porém, não limpo.

A presente pesquisa apesar de classificar-se como um estudo de caso, pode ser utilizada para aplicações em unidades agroindustriais que utilizam a mesma tecnologia produtiva.

Como sugestão para futuras pesquisas correlacionadas a esta, com vistas à mensuração da eficiência econômico-ambiental, valendo-se da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com aplicação do Método CML 2000, recomenda-se estudar plantas indústrias que utilizam tecnologias diferentes da Unidade Paranacity na produção do etanol hidratado, pelo processo convencional, e estudos para o etanol hidratado de segunda geração, que se utiliza de processos químicos.

REFERÊNCIAS

- ACV BRASIL. 2010. Avaliação do Ciclo de Vida com SimaPro. **Treinamento**. realizado em outubro de 2010, Curitiba-PR.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução ANEEL n. 21, de 20 de janeiro de 2000**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000021.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2011.
- AGUIAR, Alicia Nascimento. **Colheita mecanizada de cana resulta em ganho ambiental**. 2010. Disponível em: <<http://zip.net/bbfx2M>>. Acesso em: 12 mar. 2011.
- ANGARITA, Edgar Eduardo Yanez. **Avaliação do impacto energético e ambiental da cogeração no balanço energético e no ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma africana**. Dissertação (Mestrado em Mecânica) - UNIFEI/Engenharia Mecânica. 2008.
- ALCOPAR. **Histórico da produção no Paraná**. 2011. Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/histprod_pr/index.htm>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- ALTHAUS, Hans-Jörg et al. **Overview and Methodology**. Ecoinvent report n. 1. Dübendorf, December 2007. Disponível em: <<http://zip.net/bqxfxQ>>. Acesso em: 15 dez. 2011.
- ANDRADE, Manuel Correia. **Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social**. São Paulo: UNESP, 1994. 250 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001, 10 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. 2011. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 20 jan. 2012.
- BALBO, Jairo Menesis. **A mundialização do etanol aumenta a oferta da bioeletricidade**. 2008. Disponível em: <<http://zip.net/byfxV8>>. Acesso em: 28 abr. 2011.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Projetos para Co-Geração Sucroalcooleira**. 2001. Disponível em: <<http://zip.net/blfBJv>>. Acesso em: 28 jun. 2011.
- BARBIERI, José Carlos; CAJAZEIRA, Jorge Emanuel Reis. Avaliação do ciclo de vida do produto como instrumento de gestão da cadeia de suprimento: o caso do papel reciclado. **Anais do SIMPOI**, São Paulo: FGV, 2009.
- BETZDEARBORN WATER MANAGEMENT GROUP. 2011. **Diagrama de produção da agroindústria canavieira**. Disponível em: <<http://zip.net/btffBRY>>. Acesso em 12 jan. 2012.

BORTOLUZZI, Edson C. et al. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 881-887, 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima**. Rio de Janeiro: BNDES, Departamento de Relações Institucionais, 1999. 38p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Álcool Combustível**. Disponível em: <<http://zip.net/bffxbX>>. Acesso em: 15 out. 2009a.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **A história política e o uso de Etanol como combustível**. Disponível em: <<http://www.h2brasil.com/parte-2/2-3-2>>. Acesso em: 15 out. 2009b.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 3 ago. 2010a.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Anuário de Agroenergia**. 2010b. Disponível em: <<http://zip.net/byfB07>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco energético nacional (BEN) 2011**. Disponível em: <<http://zip.net/bffxby>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

CARSON, Rachel L. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010. 327 p.

CARVALHEIRO, Elizângela Mara. **A agroindústria canavieira do Paraná: evolução histórica e impactos sobre o desenvolvimento local**. 2005. 258 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2005.

CARVALHO, Luiz Carlos Corrêa. Etanol: perspectivas do mercado. In: MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.) **Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002.

CECHIN, Andrei Domingues; VEIGA, José Eli da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 438-454, jul./set. 2010.

CLEMENTE, Ademir; HIGACHI, Hermes Y. **Economia e desenvolvimento regional**. São Paulo: Atlas, 2000.

COHEN, Claude. De consumo e energia: efeitos sobre o meio ambiente e o desenvolvimento. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.) **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

COLTRO, Leda. Avaliação do ciclo de vida – ACV. In: COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: Cetea/Ital, 2007.

COLTRO, Leda; MOURAD, Anna Lúcia. ACV de Produtos Alimentícios. In: COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: Cetea/Ital, 2007.

DURÃES, Frederico Ozanan Machado et al. Pinhão Manso: oleaginosa potencial para biodiesel. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA DO PINHÃO-MANSO. **Anais...** Edição Especial Embrapa Agroenergia, 2008.

DIAS, Guilherme Leite da Silva et al. Modelo de intervenção mínima para o setor canavieiro. In: MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.). **Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise de ciclo de vida dos produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FREEMAN, Christopher. **Inovação e ciclos longos de desenvolvimento econômico**. Porto Alegre: Ensaio FEE, 1984.

FREEMAN, Chris. The 'National System of Innovation' in historical perspective. **Journal of Economics**, Cambridge, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

GAZZONI, Décio Luiz. **Álcool: Etanol brasileiro**. 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/etanol.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

GATTI, José Barbutti et al. Reciclagem de embalagem em termos de ACV: estudo de caso. In: COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: Cetea/Ital, 2007.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The entropy law and the economic process**. New York: Pergamon Press, 1971. 457 p.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The entropy law and the economic process in retrospect. **Eastern Economic Journal**, v. 12, n. 1, Jan./Mar. 1986.

GIL, Antonio Carlos. **Técnicas de pesquisa em economia**. São Paulo: Atlas, 1991. 195 p.

GOEDKOOOP, Mark. **The Ecoindicator 95 Final Report**. Amersfoort: Pré Consultants, 1998.

GOES, Tarcizio et al. Novas fronteiras tecnológicas da cana-de-açúcar no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n. 1 Jan./Fev./Mar. 2009.

HUGON, Paul. **História das doutrinas econômicas**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 1980.

HUNT, R.; FRANKLIN, E. LCA - How it Came About. Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. **Int. J. LCA**, Landsberg, v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.

ISO. (2006). **ISO 14040: Environmental management** - Life cycle assessment - Principles and framework. Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO. (2006). **ISO 14044: Environmental management** - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Switzerland: International Organization for Standardization.

JAIME, Sandra Balan Mendoza. ACV de embalagem de vidro para sistemas retornável e descartável. In: COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: Cetea/Ital, 2007.

JORNAL CANA. **Dados**. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br>>. Acesso em 23 nov. 2011.

KAEFER, G. T.; SHIKIDA, P. F. A. A gênese da cana-de-açúcar no Paraná e seu desenvolvimento recente. **Tempo da Ciência (UNIOESTE)**, Cascavel, v. 7, n. 13, p. 93-104, 2000.

LEFF, Enrique. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade e poder**. Petrópolis: Vozes, 2002.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – inserção e perspectivas**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). UFBA/Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Escola Politécnica, 2007.

LOPES, José Ferreira et al. **Análise do ciclo de vida de produtos como técnica de apoio a gestão ambiental e industrial**. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2002.

LUSTOSA, Maria Cecília Junqueira. **Economia e meio ambiente: revendo desafios**. Disponível em: <<http://www.jornaldeplasticos.com.br/jpjul01/pag07.html>>. Acesso em: 15 out. 2011.

MARQUES, Fabrício. **O alvo é o bagaço: subproduto abundante da indústria da cana dá vantagem competitiva ao Brasil na busca do etanol de segunda geração**. 2009. Disponível em: <<http://zip.net/bpfCd9>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

MATTSSON, B; SONESSON, U. (Ed.). **Environmentally-friendly food processing**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. 337 p.

MAY, Peter H.; PEREIRA, André S. Economia do aquecimento global. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, 318 p.

MEADOWS, Dennis L. (Coord.) **Limites do crescimento**. São Paulo: Perspectiva, 1973.

MENDONÇA, Cláudio. **Desenvolvimento sustentável**: Como aliar meio ambiente e economia. Disponível em: < <http://zip.net/bnfxfM> >. Acesso em: 10 dez. 2011.

MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.). **Agroindústria Canaveira no Brasil**: evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002, 367 p.

OLIVEIRA, Junia. **Poluição custa US\$ 1 bilhão por ano no país**. São Paulo: USP, 2008. Disponível em: <<http://www.drclas.harvard.edu/print/3583>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

OMETTO, Aldo Roberto. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia - USP, São Carlos, 2005.

ANHESINI, João Amílcar Rodrigues. **influência econômica da agroindústria canaveira sobre os municípios produtores Paranaenses**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Economia Regional – UEL, Londrina, 2011.

PARANÁ. IPARDES. **Cadernos Municipais**. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=30>. Acesso em: 12 fev. 2012.

PAULILLO, L. F.; MELLO, F. O. T.; VIAN, C. E. F. Análise da competitividade das cadeias de agroenergia no Brasil. In: BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). **Análise da competitividade das cadeias agroindustriais brasileiras**. São Carlos: DEP-UFSCAR/IE-UNICAMP, fev. 2006. 119 p. (Projeto MAPA/IICA).

PEREIRA, Maria Bernadete Gomes; GUTIERREZ, Sarmiento. O mecanismo de desenvolvimento sustentável brasileiro. **Texto para Discussão n. 1443**. IPEA. Brasília, dezembro de 2009.

PRé. **User Manual**. Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 7. PRé Consultantes, Amersfoort, Netherlands, 2011.

PROCHNIK, Victor; ARAÚJO, Rogério Dias de. **Uma Análise do Baixo Grau de Inovação na Indústria Brasileira a partir do estudo das firmas menos inovadoras**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

RAMÃO, Fernanda Pamplona; SCHNEIDER, Iara Elisa; SHIKIDA, Pery Francisco Assis. Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Paraná. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 21-32, jan./jun., 2007.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.). **Economia do meio ambiente**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, 318 p.

ROSENBERG, Nathan. **Inside the Black Box, technology and economics**. Cambridge University Press, 1982.

SÃO PAULO. **Lei nº 11.241**: dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. São Paulo, 2002.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis et al. Impactos das transformações institucionais e do progresso técnico nos fornecedores de cana do Paraná. In: SHIKIDA, Pery Francisco Assis; STADUTO, J. A. R. (Org.). **Agroindústria canavieira no Paraná**: análises, discussões e tendências. Cascavel: Coluna do Saber, 2005. 168 p.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis et al. Etanol combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 531-565, Jul./Set., 2007.

_____. Certificação socioambiental: oportunidades para o etanol brasileiro. **Revista de Estudos Sociais**, Cuiabá, ano 10, v. 20, n. 2, p. 18-43, 2008.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis et al. Um estudo das deliberações da câmara setorial do açúcar e do etanol usando análise de correspondência. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 47 n. 1, p. 183-210, Jan./Mar., 2009.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis; AZEVEDO, Paulo Furquim de; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. Uma análise das capacidades tecnológicas da agroindústria canavieira em Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 8, p. 251-277, 2010.

SHIKIDA, Pery F. A. A agroindústria canavieira no Paraná: perdendo posição relativa. **Boletim do Conselho Regional de Economia do Paraná**, abril de 2012.

SILVA, Maria Amélia Rodrigues da. Economia dos recursos naturais. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.). **Economia do meio ambiente**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. Design methodology of life cycle assessment (LCA) of ethanol fuel by CML 2000 with SimaPRO. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION: CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD, 3., 2011, São Paulo. **Anais...** 2011. v. 1. p. 82-82.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. Desenho da metodologia da avaliação do ciclo de vida (ACV) do Etanol combustível pelo método CML 2000. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 9., 2011, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, outubro de 2011.

SILVEIRA, V. Amyris pede certificação para bioquerosene a ser testado pela Embraer. **Valor Econômico**, São José dos Campos, 25 jul. 2011. Disponível em: <<http://zip.net/blfBJJ>>. Acesso em: 3 out. 2011.

SOARES, Sebastião Roberto et al. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção civil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancun. **Anais...** Cancún, México, 2002.

SOUZA, Zilmar José de. Evolução e considerações sobre a co-geração de energia no setor sucroalcooleiro. In: MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002. 367 p.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Idéias Fundadoras – Apresentação. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 2, p. 201-202, jul./dez. 2002a.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Efeitos e desafios das novas tecnologias na agroindústria canavieira. MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002b, 367 p.

TETTI, Laura Maria Regina. Protocolo de Kyoto: oportunidades para o Brasil com base em seu setor sucroalcooleiro: um pouco da história da questão “mudanças climáticas e efeito estufa”. In: MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002, 367 p.

TRAPÉ, Angelo Zanaga. **Efeitos Toxicológicos e Registro de Intoxicações por Agrotóxicos**. Departamento de Medicina Preventiva e Social. Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2010. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/efotoxic.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA). 2011. **Dados agregados**. Disponível em: <<http://zip.net/btfBSN>>. Acesso em: 1 out. 2011.

USINA SANTA TEREZINHA (USACUCAR). 2011. **Dados**. Disponível em: <<http://www.usacucar.com.br>>. Acesso em 15 out. 2011.

VEIGA FILHO, A. de A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-de-açúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. **Recitec**, Recife, v. 3, n. 1, p. 74-99, 1999.

VIEIRA, Gilberto.; SIMON, Elias José. Possíveis impactos da mecanização no corte de cana-de-açúcar em consequência da eliminação da queima da palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., Ribeirão Preto, 2005. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005.

YIN, Robert Ken. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO – SAÍDA DO SIMPAPRO 7

Calculation: Analisar
 Results: Avaliação de impacto
 Product: 1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
 CML 2 baseline 2000 V2.05 /
 Método: World, 1995
 Indicador: Caracterização
 Unidade: %
 Skip categories: Nunca
 Excluir processos de infraestrutura: N°
 Excluir emissões de longo prazo: N°
 Sorted on item: Categoria de impacto
 Sort order: Crescente

Categoria de impacto	Unidade	Cana-de-açúcar, na Plantação	Etanol Hidratado, na Planta	Transporte até Paranaguá	Total
Acidificação	kg SO2 eq	2,5463279	1,3608924	0,33560375	4,2428241
Eutroficação	kg PO4--- eq	0,59715014	0,41615661	0,089004696	1,1023114
Aquecimento Global (GWP 100)	kg CO2 eq	216,54099	64,908049	61,832088	343,28113
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	9,44006E-06	6,2136E-06	9,94613E-06	2,56E-05
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	3030,7191	215,52102	15,791713	3262,0318
Ecotoxicidade em Águas doces	kg 1,4-DB eq	2768,1795	15,86801	5,8405011	2789,8881

APÊNDICE B – NORMALIZAÇÃO – SAÍDA DO SIMAPRO 7

Calculation: Analisar
 Results: Avaliação de impacto
 Product: 1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
 Método: CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
 Indicador: Normalização
 Skip categories: Nunca
 Excluir processos de infraestrutura: N°
 Excluir emissões de longo prazo: N°
 Sorted on item: Categoria de impacto
 Sort order: Crescente

Categoria de impacto	Cana-de-açúcar, na Plantação	Etanol Hidratado na Planta	Transporte até Paranaguá	Total
Acidificação	7,92E-12	4,23E-12	1,04E-12	1,32E-11
Eutroficação	4,51E-12	3,15E-12	6,73E-13	8,33E-12
Aquecimento Global (GWP 100)	5,22E-12	1,56E-12	1,49E-12	8,27E-12
Depleção da Camada de Ozônio	1,83E-14	1,21E-14	1,93E-14	4,97E-14
Toxicidade Humana	5,30E-11	3,77E-12	2,76E-13	5,71E-11
Ecotoxicidade em Águas doces	1,36E-09	7,78E-12	2,86E-12	1,37E-09

APÊNDICE C – CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICIDADE EM ÁGUA DOCE

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo
Product:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado) CML 2 baseline 2000 V2.05 /
Método:	World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg 1,4-DB eq
Categoria:	Fresh water aquatic ecotox.
Interrupção:	0,04%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg 1,4-DB eq)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	2789,8881	15,86801	5,8405011	2768,1795	100%
Processos restantes	2760,85483	2,1158425	1,4743057	1,8861812	99%
Destinação, cinzas de madeira	7,0428178	3,8481713	0,000203419	0,00035244	0,252%
Destinação, resíduo sulfídrico	5,2578636	2,1942273	0,98492075	2,0787155	0,188%
Destinação, escória de fundição de níquel	4,9806339	1,9937911	0,45864831	2,5281944	0,179%
Destinação, resíduo de mineração de lignita	4,9228621	1,2267845	1,2404837	2,4555939	0,176%
Destinação, resíduo de mineração de carvão	3,1240555	0,66149982	0,74604114	1,7165146	0,112%
Destinação, lodo de bauxita	1,9045189	0,1217302	0,19486597	1,5879227	0,0683%
Destinação, escória de aço	1,8004872	0,5122429	0,74089911	0,54734516	0,0645%

APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO TOXICIDADE HUMANA

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo
Product:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg 1,4-DB eq
Categoria:	Human toxicity
Interrupção:	0,11%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg 1,4-DB eq.)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	3262,0318	215,52102	15,791713	3030,7191	100,000%
Processos restantes	3189,4832	8,7781442	8,8686102	18,740604	97,776%
Ferro Cromo Alto Carbono	21,2570	9,9720682	0,95556899	10,329349	0,652%
Alumínio, primário	9,5026	0,60152429	0,97172101	7,9293149	0,291%
Ânodo, eletrólise de alumínio	9,2513	0,70220209	1,0480578	7,5010213	0,284%
Destinação, cinzas de madeira	7,7688	7,7678654	0,000323527	0,000576819	0,238%
Destinação, resíduo sulfídrico	7,4539	3,1106772	1,3962868	2,9469202	0,229%
Cobre, primário	6,9332	2,9292687	1,0319506	2,9719946	0,213%
Transporte, trator e trailer	6,5113	2,34545E-06	2,55344E-06	6,5113107	0,200%
Descarga de água após tratamento	3,8706	0,92380992	1,5191912	1,427604	0,119%

APÊNDICE E – CARACTERIZAÇÃO ACIDIFICAÇÃO

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo 1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Product:	Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg SO2 eq
Categoria:	Acidification
Interrupção:	0,65%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg SO2 eq)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	4,2428	1,3608924	0,33560375	2,5463279	100%
Processos restantes	3,5435	0,086523787	0,06471487	0,18083469	83,518%
Operação de caminhão >16t	0,3431	0,035669981	0,21910002	0,088287291	8,086%
Gás natural rico em Enxofre, queimado em flare	0,0703	0,016433278	0,02685231	0,02700517	1,657%
Transporte, trator e trailer	0,0679	2,44503E-08	2,66185E-08	0,067877554	1,600%
Enxofre secundário, na refinaria	0,0662	0,065734003	0,000232993	0,000281497	1,561%
Ácido Sulfúrico, líquido	0,0622	0,061767365	0,00021783	0,000262633	1,467%
Operação de caminhão 3,5-16t	0,0328	0,02392334	6,97519E-06	0,008913346	0,774%
Operação, petroleiro transoceânico	0,0291	0,007113327	0,011258141	0,010699403	0,685%
Diesel, queimado em máquina	0,0277	0,006836047	0,01322059	0,007618189	0,652%

APÊNDICE F – CARACTERIZAÇÃO EUTROFIZAÇÃO

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo
Product:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg PO4--- eq
Categoria:	Eutrophication
Interrupção:	0,62%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg PO4-- eq)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	1,1023	0,41615661	0,089004696	0,59715014	100%
Processos restantes	0,82366	0,018609696	0,012714748	0,034401815	74,721%
Operação de caminhão >16t	0,088529	0,00920498	0,056540855	0,02278338	8,031%
Destinação, cinzas de madeira	0,084071	0,08406133	3,50111E-06	6,24215E-06	7,627%
Destinação, resíduo de mineiração de lignita	0,033391	0,008321049	0,008413968	0,016655832	3,029%
Destinação, resíduo sulfídrico	0,020474	0,008544431	0,003835331	0,008094622	1,857%
Destinação, resíduo de mineiração de carvão	0,019987	0,004232088	0,004772959	0,010981771	1,813%
Transporte, trator e trailer	0,016613	5,98429E-09	6,51497E-09	0,016613288	1,507%
Operação de caminhão 3,5-16t	0,0084707	0,006170066	1,79897E-06	0,00229884	0,768%
Óleo cru, produção onshore	0,0071187	0,001663501	0,002721529	0,002733658	0,646%

APÊNDICE G – CARACTERIZAÇÃO AQUECIMENTO GLOBAL

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo 1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Product:	Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg CO2 eq
Categoria:	Global warming (GWP100)
Interrupção:	1,10%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg CO2 eq)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	343,2811	64,908049	61,832088	216,54099	100%
Processos restantes	221,67683	13,618481	13,488021	32,98921	64,576%
Operação de caminhão >16t	66,300663	6,8937274	42,344171	17,062765	19,314%
Cal Virgem	20,298965	19,751357	0,18035231	0,36725602	5,913%
Transporte, trator e trailer	10,365577	3,7338E-06	4,0649E-06	10,365569	3,020%
Operação de caminhão 3,5-16t	6,639749	4,8363968	0,001410121	1,8019423	1,934%
Ferro gusa	5,239086	1,0201558	1,3602149	2,8587151	1,526%
Gás natural pobre em Enxofre, queimado em flare	4,514208	1,1158782	1,8131251	1,585205	1,315%
Clinker	4,4650015	2,0972164	0,83854	1,5292451	1,301%
Diesel, queimado em máquina	3,7810470	0,93396843	1,8062506	1,040828	1,101%

APÊNDICE H – CARACTERIZAÇÃO DEPLEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

Calculation:	Analisar
Results:	Contribuição do processo
Product:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	kg CFC-11 eq
Categoria:	Ozone layer depletion (ODP)
Interrupção:	0,25%
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Total
Sort order:	Decrescente

Processo - Etanol Hidratado (Berço ao Porto)	Total (kg CFC-11 eq)	Etanol Hidratado na Planta	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	Cana-de-açúcar, na plantação	%
Total de todos os processos	2,56E-05	6,2136E-06	9,94613E-06	9,44006E-06	100%
Processos restantes	3,08E-07	8,78019E-08	8,54505E-08	1,34668E-07	1,203%
Óleo cru, produção onshore	2,43E-05	2,20649E-06	3,57959E-06	3,12201E-06	95,088%
Transporte de gás natural, gasoduto	6,30E-07	1,36493E-07	9,8237E-08	2,24715E-07	2,461%
Urânio enriquecido	2,44E-07	4,042E-08	4,72929E-08	8,37986E-08	0,953%
Cloro gasoso, célula de mercúrio	7,56E-08	3,06072E-08	2,31787E-08	2,17804E-08	0,295%

APÊNDICE I – ANÁLISE DE INCERTEZA CONSIDERANDO A MATRIZ *PEDIGREE*

Categoria de impacto	Unidade	Média	Mediana	SD	CV (Coeficiente de Variação)	2,50%	97,50%	Err.Pad. da média
Acidificação	kg SO2 eq	4,32	4,32	0,625	14,50%	3,26	6,17	0,0205
Eutroficação	kg PO4--- eq	1,11	1,11	0,163	14,70%	0,827	1,54	0,0208
Aquecimento Global (GWP 100)	kg 1,4-DB eq	2,82E+03	2,80E+03	134	4,76%	2,54E+03	3,17E+03	0,00674
Depleção da Camada de Ozônio	kg CO2 eq	343	334	45,3	13,20%	262	511	0,0187
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	3,28E+03	3,26E+03	202	6,16%	2,89E+03	3,74E+03	0,00871
Ecotoxicidade em Águas doces	kg CFC-11 eq	2,52E-05	2,29E-05	9,76E-06	38,80%	1,31E-05	5,64E-05	0,0549

Intervalo de confiança:

95

APÊNDICE J – SENSIBILIDADE SEM INFRA-ESTRUTURA

Calculation:	Analisar
Results:	Avaliação de impacto
Product:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	%
Skip categories:	Nunca
Excluir processos de infraestrutura:	Sim
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Categoria de impacto
Sort order:	Crescente

Categoria de impacto	Unidade	Total (sem infraestrutura)	Total (com infraestrutura)	Diferença	Diferença %
Acidificação	kg SO2 eq	4,0405864	4,2428241	0,2022377	5%
Eutroficação	kg PO4--- eq	1,011703	1,1023114	0,0906084	8%
Aquecimento Global (GWP 100)	kg CO2 eq	297,52722	343,28113	45,75391	13%
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,93E-05	2,55998E-05	6,27278E-06	25%
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	3184,2715	3262,0318	77,7603	2%
Ecotoxicidade em Águas doces	kg 1,4-DB eq	2766,0622	2789,8881	23,8259	1%

APÊNDICE K – SENSIBILIDADE COM PRODUÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

Calculation:	Comparar
Results:	Avaliação de impacto
Product 1:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	%
Skip categories:	Nunca
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Categoria de impacto
Sort order:	Crescente

Categoria de impacto	Unidade	Sem produção de defensivos	Com produção de defensivos	Com produção de defensivos	Sem produção de defensivos
Acidificação	kg SO2 eq	4,2428241	4,7683985	1	89%
Eutroficação	kg PO4--- eq	1,1023114	1,2537911	1	87,918%
Aquecimento Global (GWP 100)	kg CO2 eq	343,28112	403,94437	1	84,982%
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	2,55998E-05	8,9903E-05	1	28,475%
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	3262,0318	3392,9263	1	96,142%
Ecotoxicidade em Águas doces	kg 1,4-DB eq	2789,8881	2807,4427	1	99,375%

APÊNDICE L – SENSIBILIDADE COMPARATIVO *ECOINVENT*

Calculation:	Comparar
Results:	Avaliação de impacto
Product 1:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (of project ACV Etanol Hidratado)
Product 2:	1 p Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (ecoinvent) (of project ACV Etanol Hidratado)
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995
Indicador:	Caracterização
Unidade:	%
Skip categories:	Nunca
Excluir processos de infraestrutura:	Nº
Excluir emissões de longo prazo:	Nº
Sorted on item:	Categoria de impacto
Sort order:	Crescente

Categoria de impacto	Unidade	Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá	Etanol Hidratado no Porto de Paranaguá (ecoinvent)	Etanol hidratado, Grupo Santa Terezinha	Etanol hidratado, ecoinvent
Acidificação	kg SO2 eq	4,2428241	4,2758579	99%	100%
Eutroficação	kg PO4--- eq	1,1023114	1,3256546	83%	100%
Aquecimento Global (GWP 100)	kg CO2 eq	343,28112	342,99717	100%	100%
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	2,55998E-05	2,50E-05	100%	97%
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	3262,0318	4033,4484	81%	100%
Ecotoxicidade em Águas doces	kg 1,4-DB eq	2789,8881	323,35287	100%	12%

ANEXOS

ANEXO A - Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança no Clima (CQNUMC)

Quadro 1 – Anexo I da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança no Clima (CQNUMC), Países Industrializados, 2002.

Alemanha	Rússia (1)	Nova Zelândia
Austrália	Islândia	Países Baixos
Áustria	França	Polônia (1)
Bielorrússia (1)	Grécia	Portugal
Bélgica	Hungria (1)	Reino Unido
Bulgária (1)	Irlanda	República Checa (1) (2)
Canadá	Itália	Romênia (1)
Croácia (1) (2)	Japão	Suécia
Dinamarca	Letônia (1)	Suíça
Eslováquia (1)(2)	Liechtenstein (2)	Turquia
Eslovênia (2)	Lituânia (1)	Ucrânia (1)
Espanha	Luxemburgo	União Européia
Estados Unidos	Mônaco (2)	Finlândia
Estônia (1)	Noruega	

Fonte: BRASIL (2002, p.26)

Quadro 2 - Anexo II da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança no Clima (CQNUMC), Países desenvolvidos que pagam os custos para países em desenvolvimento, 2002.

Alemanha	França	Países Baixos
Austrália	Grécia	Portugal
Áustria	Irlanda	Reino Unido
Bélgica	Islândia	Suécia
Canadá	Itália	Suíça
União Européia	Japão	Turquia
Dinamarca	Luxemburgo	Finlândia
Espanha	Noruega	
Estados Unidos	Nova Zelândia	

Fonte: BRASIL (2002, p. 27)