



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL NA UTILIZAÇÃO DA
CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIA-PRIMA: UM ENFOQUE
AMBIENTAL E ECONÔMICO**

Marcelo Weihmayr da Silva
Administrador, Faculdade Maringá, 2005
Orientador: Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira

Dissertação de Mestrado submetida à
Universidade Estadual de Maringá, como parte
dos requisitos necessários para obtenção do
Grau de Mestre em Bioenergia, Área de
concentração Biocombustível.

MARINGÁ – PR – BRASIL

Agosto, 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

Esta é a versão final da dissertação do Mestrado apresentada por Marcelo Weihmayr da Silva perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Bioenergia em 25 de agosto de 2015

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira
Orientador/Presidente

Prof. Dr. Pedro Augusto Arroyo
Membro

Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani
Membro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S586a Silva, Marcelo Weihmayr da
Avaliação do ciclo de vida do etanol na
utilização da cana-de-açúcar como matéria-prima: um
enfoque ambiental e econômico / Marcelo Weihmayr da
Silva. -- Maringá, 2015.
83 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em
Bioenergia, 2015.

1. Etanol - Cana-de-açúcar - Avaliação do Ciclo
de Vida (ACV). 2. Cana-de-açúcar - Impacto
ambiental. 3. Simspro - Software. I. Pereira,
Nehemias Curvelo, orient. II. Universidade Estadual
de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de
Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em
Bioenergia. III. Título.

CDD 21.ed. 665.3

MN-003125

*Louvado sejas, meu Senhor, pela nossa irmã, a mãe terra, que nos sustenta e governa, produz
frutos diversos, flores e ervas.*
Cântico das Criaturas – São Francisco de Assis

Agradecimentos

A minha mãe que me educou em sua simplicidade e por muitas vezes ter me mostrado que seu coração é o melhor abrigo.

Ao meu pai que distante sempre se mostrou próximo e amigo, alguém que tenho orgulho de chamar de pai, sua honestidade e simplicidade fazem parte do que sou hoje.

Agradeço e dedico este trabalho a um grande amigo que ficará sempre guardando em minha memória, Osório Moreira Couto Junior, este momento foi resultado de sua confiança e amizade, obrigado.

Deixo também meu agradecimento à vida do pequeno Rafael, que chegou inesperadamente em minha família, seus risos e até mesmo nossos cuidados para com ele transpassam qualquer dúvida e incerteza sobre a vida.

Obrigado Marlene Rebequi, a mais de 17 anos, sem me conhecer muito bem, acreditou em mim. E este acreditar provocou-me uma busca interna e me levou para novos desafios, este momento que vivo também é seu. Obrigado Marlene.

A minha amiga e irmã Paula Camila Mesti, você dá sentido à palavra amizade.

Agradeço também a Prof. Dr.^a Amélia Massae Morita e a Me. Camila Garrido por partilharem do conhecimento, me auxiliando nas dúvidas do software Simapro.

Quero agradecer na pessoa do Sr. José Sebastião Marinelo, diretor geral da Fapan, a todos os professores e colaboradores desta instituição de ensino que participaram deste meu processo acadêmico, além de ter permitido que a pesquisa deste trabalho fosse realizada.

Deixo também meu agradecimento de forma especial, ao Presidente da Coopcana Elias Fernando Vizzotto e ao gerente de produção Odair José Pacco por permitirem e colaborarem nas informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Rodolfo Tormena que me auxiliou em pequenas dúvidas, porém pertinentes para o meu trabalho. Assim também como a Elis Masini por sua amizade e colaboração.

Ao professor Nehemias Curvuelo Pereira, por compreender minhas limitações e se mostrar amigo e paciente nos momentos em que me foram preciso, obrigado professor.

Por ultimo a Deus, pois sem ele não há princípio e por meio Dele chega-se a todo fim.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	O Ambiente Como Um Sistema Entrópico	3
2.2	O Sistema Econômico e a Economia Ecológica	5
2.3	Os Combustíveis.....	9
2.4	Posição brasileira contra as emissões	12
2.5	Biocombustíveis	15
3	A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	20
3.1	Avaliação do ciclo de vida.....	24
3.2	Softwares para ACV	26
3.3	Aplicação da ACV no Setor Sucroalcooleiro	27
4	MERCADO SUCROENERGÉTICO	33
4.1	A Indústria Brasileira e a Cana-de-Açúcar.....	33
4.2	Escoamento do etanol para o mercado	41
4.3	O Paraná e o Mercado Sucroalcooleiro	42
4.4	Processo de Produção do Etanol	45
5	A CIDADE DE SÃO CARLOS DO IVAÍ E A COOPCANA	47
5.1	A Cidade de São Carlos do Ivaí.....	47
5.2	A Coopcana: Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana	48
6	METODOLOGIA	55
6.1	Caracterização dos Impactos Ambientais e Coleta de Dados.....	55
6.2	Caracterização da Usina da Coopcana	61
6.2.1	Objetivos e Escopo	61
6.2.2	Inventário da Produção do Etanol na Usina da Coopcana.....	63
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
7.1	Avaliação das Categorias do Impacto.....	64
7.2	Análise de Contribuição por Acidificação.....	67
7.3	Análise da Contribuição por Eutrofização	67

7.4	Análise da Contribuição por Aquecimento Global.....	69
7.5	Análise da Contribuição por Depleção da Camada de Ozônio	70
7.6	Análise Da Contribuição Por Toxicidade Humana	70
7.7	Análise Da Contribuição Por Ecotoxicidade de Água Doce.....	71
8	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

Lista de Tabelas

Tabela 1: Participação das fontes de energia no setor de transporte.....	11
Tabela 2: Inventário da redução das emissões de GEE - MMA.....	14
Tabela 3: Produção mundial de cana-de-açúcar - Milhões de Toneladas Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2014).....	34
Tabela 4: Informações técnicas da cultura da cana-de-açúcar no Brasil.....	36
Tabela 5: Evolução nacional do mix de produção das usinas de açúcar e etanol.....	37
Tabela 6: Transformações tecnológicas na produção do etanol entre o ano de 1980 a 2000..	39
Tabela 7: Evolução do mix de produção das usinas de cana-de-açúcar do estado do Paraná.	43
Tabela 8: Informações da produção da usina da Coopcana.....	50
Tabela 9: Participação na geração de empregos da Coopcana.....	52
Tabela 10: Inventário da produção de 1m ³ de etanol.....	63
Tabela 11: Dados secundários da biblioteca ecoinvent.....	66
Tabela 12: Processos de maior relevância na acidificação.....	67
Tabela 13: Processos de maior relevância na eutrofização.....	68
Tabela 14: Processos de maior relevância no aquecimento global.....	69
Tabela 15: Processos de maior relevância na depleção da camada de ozônio.....	70
Tabela 16: Análise da contribuição por toxicidade humana.....	70

Lista de Figuras

Figura 1: Modelo circular na economia convencional	6
Figura 2: Modelo biofísico do sistema econômico	8
Figura 3: Percentual de produtos produzidos por barril de petróleo	11
Figura 4: Evolução dos biocombustíveis no Brasil	16
Figura 5: Participação de recursos renováveis na matriz energética brasileira – EPE.....	18
Figura 6: Conceito de gerenciamento da aplicação da ACV	22
Figura 7: Etapas de um estudo de ACV	25
Figura 8: Mapa da produção do Setor Sucroenergético	35
Figura 9: Oferta Interna de Energia, ano base 2013 - Participação por fontes	41
Figura 10: Etapas da cadeia logística do etanol	42
Figura 11: Relação das usinas do estado do Paraná	44
Figura 12: Fluxograma do processo de produção de etanol e açúcar.....	45
Figura 13- Representação geográfica da cidade de São Carlos do Ivaí	47
Figura 14 - Evolução IDHM São Carlos do Ivaí e Paraná	48
Figura 15 - Localização geográfica do setor administrativo e da usina	51
Figura 16: Fluxograma do processo de produção de etanol e açúcar da Coopcana.....	52
Figura 17: Representação moenda	53
Figura 18: Cenário estimado pelo Simapro além do sistema proposto	61
Figura 19: Sistema abordado para a coleta de dados	62
Figura 20: Resultado do ciclo de vida do etanol hidratado dados de entrada.....	64
Figura 21: Resultado do ciclo de vida do etanol hidratado dados de entrada e saída	65

Lista de Abreviações

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BEN	Balanco Energético Nacional
CFC	Clorofluorcarbonetos
CE	Comitê Executivo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GEE	Gases de Efeito Estufa
NMHC	Hidrocarbonetos Não-Metano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
CO	Monóxido de Carbono
NBR	Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Proalcool	Programa Nacional do Alcool
RCE	Redução Certificada de Emissões
SINDICOM	Sindicato das Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes. Logística do Setor. Disponível
SETEC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar
UDOP	União dos Produtores de Bioenergia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ETANOL NA UTILIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIA-PRIMA: UM ENFOQUE AMBIENTAL E ECONÔMICO

AUTOR: MARCELO WEIHMAYR DA SILVA

ORIENTADOR: PROF. Dr. NEHEMIAS CURVUELO PEREIRA

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Bioenergia; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo 5790, Bloco D-90 – 09. CEP 87020-900 - Maringá – PR, Brasil.

RESUMO

O etanol é um biocombustível que pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar. Cabe destacar que o Brasil possui clima e solo favorável para o seu cultivo praticamente em todo o território nacional. Na crise mundial do petróleo ocorrido em 1970, o etanol passou a ter um enfoque econômico, com a expectativa de diminuir a dependência das reservas petrolíferas, minimizando, assim, possíveis embates geopolíticos. A cana-de-açúcar se apresenta em um grande mercado, o Brasil possui um destaque mundial. Com o crescimento da consciência ecológica o etanol passa a ser ainda mais incentivado por medidas governamentais na expectativa da diminuição de gases de efeito estufa (GEE). Portanto, este trabalho tem por objetivo considerar uma Análise do Ciclo de Vida na produção do etanol, em uma usina na região de São Carlos do Ivaí, quantificando os aspectos econômicos e ambientais. Para manipulação dos dados e a apresentação das categorias de impactos, foi utilizado o software Simapro. Como fonte primária de dados foi utilizando a base *ecoinvent*, utilizando o método *Centre for Environmental Science of Leiden University* (CML) 2000, baseando-se nas recomendações da ISO 14040. Seguindo as normas aplicadas e delimitando a fronteira de pesquisa, este trabalho se restringe a apenas as etapas de moagem da cana-de-açúcar, fermentação e destilação, observando insumos de entrada e os resíduos na saída do processo

final. Nos resultados apresentados, nota-se que a cana-de-açúcar possui uma grande relevância nos impactos ambientais seja na área de cultivo ou no processo de industrialização, para se produzir o etanol. A cana-de-açúcar apresenta uma maior relevância de impacto na categoria de Toxicidade Humana, chegando em 90% de participação. Quando se observa a saída de resíduo do sistema, na produção do etanol, a categoria de Eutrofização apresenta a cana-de-açúcar como a principal vilã, porém, a vinhaça quantificada na produção do etanol pode ser a responsável pela variação de 32% nesta categoria. Outro aspecto relevante é na categoria de Aquecimento Global, em que a cana-de-açúcar diminui sua participação, nota-se que na etapa de fermentação é liberado CO₂ quantificado em 450 kg neste processo, o que pode ter determinado a variação da cana-de-açúcar como matéria prima, embora ainda haja o processo de queimada, como processo de colheita, a liberação de CO₂ no processo de fermentação pode ser a responsável em contribuir em 50% na categoria de Aquecimento Global. Por fim, percebe-se que a cana-de-açúcar e o etanol como produto derivado, possuem um mercado promissor em todo mundo e favorável ao Brasil, o que permite a geração de emprego e renda. Embora o etanol seja produzido por meio de um produto renovável, sua industrialização é impactante, o que motiva a novas pesquisas para a otimização do processo industrial.

Palavra Chave: Etanol, Ciclo de e Vida, Ambiente.

EVALUATION OF ETHANOL LIFE CYCLE IN USE OF CANE SUGAR AS RAW MATERIALS: AN ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC APPROACH**AUTHORESS: MARCELO WEIHMAYR DA SILVA****ADVISER: PROF. Dr. NEHEMIAS CURVELO PEREIRA**

Master's Thesis, Graduate Program In Bioenergy, State University Of Maringa, Colombo Avenue, 5790, Block D-90-09. Zipe Code 87020-900 - Maringá - Pr, Brazil.

ABSTRACT

The ethanol is a biofuel that can be produced from the sugarcane; Brazil has the favorable weather and soil to grow it in practically all the national extension. In the 1970's world crises, the ethanol began to have an economic focus with the expectation of decrease the oil reserve dependence in other continents focusing in minimize geopolitics conflicts. The sugarcane is presented in a large market, Brazil has a global standout. With the increase of the ecological conscience, the ethanol stars to be even more encouraged by governmental measures hoping to decrease the greenhouse effect gases (GEE). Therefore the main objective of this paper is to consider an analisys of the cycle of life in the ethanol production in an power plant near São Carlos do Ivaí, quantifying the economic and enviromental aspects. The software Simapro was used to manipulate the data and to present the categories of impact, using the *Centre for Environmental Science of Leiden University* method (CML) 2000, and based on the recommendation from ISO 14040. Following the aplicable rules, delimiting the research borders, this paper refers only about the milling, the fermentation and the destilation of the sugarcane, observing the inputs in the beginning and the leavings in the final process. In the results, is noticed that the sugarcane has a big part in the environmental impacts in the growing area or in the industrialization process in the production of ethanol. The sugarcane presents a higher relevance in the impact of the category of human toxicity, reaching 90% of the participation. When the output system draft is observed, in the ethanol production, the

eutrophication category presents the sugarcane as the main vilan, but the quantified vinasse in the ethanol production could be the responsible for the 32% variation in this category. Another relevant aspect is in the Global warning category, the sugarcane decreases its participation, in the fermentation process is released 450 kg of CO₂ in this process, what could have determined the variation of the sugarcane as a raw material, in spite of the burning process in the harvest, the CO₂ liberation in the fermentation process could be responsible to contribute in 50% in the Global Warning category. Lastly, it is noticed that the sugarcane and ethanol as a derivate as a product, it has a promissor market in the whole world and favorable in Brazil, what allow the creation of employment and incoming. Although the ethanol is produced by a renewed product, its industrialization is impacting what motivates new researches to optimaze the industrial process.

Keywords: Ethanol, Life cycle, Environment.

1 INTRODUÇÃO

O homem sempre utilizou os recursos naturais para satisfazer suas necessidades e garantir sua sobrevivência. Na medida em que o conhecimento científico foi evoluindo passou-se a observar que a humanidade interage com o ambiente em um sistema de troca. A extração e a transformação dos recursos naturais entram em um sistema de produção, gerando uma nova matéria que até então, não se aproveitava no processo de produção (VALE, 2012).

A intensificação da extração de recursos foi marcada em meados do século XVIII, quando se iniciou na Inglaterra a chamada Revolução Industrial, que permitiu não só uma transformação no processo de fabricação de bens e produtos, mas também uma transformação na estrutura econômica. Estas transformações ocasionaram uma mudança no comportamento humano, o seu modo de produzir, nas relações sociais e no ambiente. Dentro do novo modelo de produção o uso de combustíveis de origem fóssil passou a ser gradativo. Neste contexto, de comportamento e produção, o petróleo passou a ser a principal fonte energética (GOLDEMBERG, LUCON; BARROS, 2007).

No meio das necessidades humanas, impulsionadas também pelo seu desejo de consumir, o avanço das pesquisas científicas, questionam o caminho tomado pelo homem, chamando a atenção para o modelo econômico e sua interação com o ambiente.

O uso de combustíveis fósseis demonstra ser um grande vilão para a natureza e a humanidade. O uso de fontes energéticas não renováveis intensifica o acúmulo de gases de efeito estufa, acelerando um processo que deveria ser natural (FARIA, 2010).

Buscando encontrar alternativas não só de uma viabilidade ambiental, mas também econômica, destaca-se um forte apelo favorável ao uso de combustíveis renováveis ou biocombustíveis. O biocombustível entra em um cenário emergente de sustentabilidade ambiental, social e econômica. O Brasil, por sua vez, está entre os líderes na produção do etanol. Seu marco está na década de 70, quando o país buscou reduzir sua dependência do petróleo.

Diante do novo cenário proposto levanta-se a seguinte questão: até que ponto a produção do biocombustível é de fato favorável ao ambiente, visto que ainda em seu processo de produção utiliza-se de recursos não renováveis.

Para responder questões como esta, é necessário investigar o ciclo de vida de um produto. No Brasil há a NBR 14040, que é espelhada em uma norma internacional, a ISO 14040, para o estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Este trabalho busca, então, entender os aspectos relevantes na esfera social, ambiental e econômica, limitando a fronteira de produção do etanol, isto é, destacando algumas partes que envolvem o processo de produção. A usina está situada no município da cidade de São Carlos do Ivaí, no estado do Paraná.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma Análise do Ciclo de Vida na produção etanol, utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima na região de São Carlos do Ivaí, quantificando os aspectos ambientais e econômicos.

Por conseguinte, os objetivos específicos são: caracterizar o processamento da cana-de-açúcar na produção do etanol e seu impacto no ambiente; demonstrar o estado econômico e social proporcionado por meio da usina da região de São Carlos do Ivaí.

A composição deste trabalho está dividida em sete partes a contar esta introdução. Na segunda parte se encontra o referencial teórico, que aborda a interação do homem com o ambiente e seu processo de desgaste ocasionado pela intensificação do uso dos combustíveis fósseis.

Na terceira parte do trabalho será apresentada a metodologia para a Análise do Ciclo de Vida (ACV), bem como suas fases de investigação e aplicação do método CML 2000.

Continuando a composição do trabalho, será apresentado na quarta parte, a visão mercado sucroalcooleiro nacional e do estado do Paraná. Também serão apresentadas as vias modais de distribuições de maiores competências no mercado do etanol.

A quinta parte está reservada para apresentar a visão social e econômica da cidade de São Carlos do Ivaí, onde está situada a usina da Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana (Coopcana).

Na sexta parte será aplicada a metodologia da ACV utilizando os dados obtidos para este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará uma abordagem bibliográfica sobre o desgaste ambiental em decorrência da influência antropogênica. Abordará também uma breve discussão das ações propostas pelo Brasil frente as questões ambientais.

2.1 O Ambiente Como Um Sistema Entrópico

Esta sessão apresenta elementos da síntese ambiental, bem como a observar o ambiente, por meio de uma ótica sistêmica sujeita a uma desordem.

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) faz uma reflexão sobre a “unidade através da diversidade”, atribuindo o pensamento aristotélico de que o “todo é maior que a soma de todas as partes”. Assim todos os elementos que se conhecem como universo, ou cosmos, estão em constante relacionamento, sendo cada parte um sistema, ou subsistema, fazendo parte de um sistema maior e interagindo entre si. O biólogo alemão, Ludowic Von Bertalanffy, considerado o precursor da TGS, também, direcionou sua teoria nas causas da poluição ambiental, no desperdício de recursos naturais e na explosão demográfica (GOMES et al., 2014).

Todo o meio em que vivemos e de onde extraímos recursos é considerado como um grande sistema, que interage com a diversidade. Por esta interação é definido, então, como um sistema aberto. Um sistema aberto é caracterizado pela capacidade de absorver entradas (*inputs*) e por meio de algum tipo de processo, envolvendo outros sistemas ou subsistemas, produz algum tipo de resultado ou saída (*outputs*). Uma indústria, por exemplo, é capaz de receber matéria-prima (*input*), processar e produzir novas saídas (*output*), como o produto desejado e os resíduos (VALE, 2012).

A matéria que entrou em um sistema é processada por meio de um trabalho. Para a execução deste trabalho é necessário o consumo de algum tipo de energia. Em se tratando de um sistema aberto, o trabalho encarregado da transformação da matéria é o que irá promover

uma troca de energia ou matéria entre os sistemas, o que também pode ser algum tipo de resíduo (CHECHIN; VEIGA, 2010; VALE, 2012).

A troca de energia ou matéria pode proporcionar efeitos destrutivos para com o ambiente. Como é o caso da extração de recursos naturais e sua transformação. As atividades humanas, principalmente as relacionadas com os meios de produção, estão relacionadas à natureza. Basicamente todos os tipos de bens e serviços que são utilizados para satisfazer as necessidades do ser humano provêm da natureza. A atividade de extração está relacionada com a produção de um determinado bem, com o consumo e o descarte, e em toda esta cadeia, há também troca de energia e matéria para com o ambiente (CAVALCANTI, 2004).

Neste cenário de conflitos ecológicos é que as pesquisas do matemático Georgescu-Roegen alicerçam o conceito de economia ecológica. A economia convencional considera o sistema econômico como um ciclo onde os meios econômicos giram em torno de si como um “motor perpétuo”, sem fim (MAY, 2010).

Partindo do princípio que a estrutura do sistema econômico interage com o ambiente de forma que os recursos naturais entram em um processo de transformação. Desta forma entende-se que as entradas ou *inputs* provêm de fatores externos, o que faz do sistema econômico um sistema linear e não circular. Sendo assim, o sistema econômico não poderia contrariar as leis da física, precisamente a lei da termodinâmica, onde a degradação, desgaste e a geração de resíduos aumentam gradativamente (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

Em decorrência do crescimento populacional e a necessidade de obtenção de diversos tipos de recursos, o ambiente vem se alterando e minimizando a disponibilidade de recursos. Isso se dá pelo fato de que o ambiente é um sistema limitado. Os meios de produção e a extração de recursos naturais têm ao longo do tempo intensificando um estado de desgaste do ambiente. Os resíduos gerados por meio da transformação ou extração dos recursos são despejados na natureza, forçando sua absorção. Essa absorção nem sempre é eficaz, podendo até impedir o estado de renovação dos recursos naturais controlado pela própria natureza (ROMEIRO, 2012).

Os recursos naturais estão sendo exauridos, prejudicando o ecossistema. O impacto causado pela extração de recursos para a produção de bens e serviços minimiza a capacidade que o ambiente possui de controlar seu equilíbrio natural. O bem estar humano posiciona-se em estado de risco (ANDRADE; ROMEIRO, 2011).

A preocupação com os fatores ambientais, sociais e econômicos passaram a tomar uma maior força ao longo dos anos, pois se percebeu o problema eminente da escassez dos recursos que podem inviabilizar a situação econômica mundial, além das consequências ambientais que tendem a tornar a natureza inadequada para os seres vivos (ROSSETTI, 2010). Todo processo de produção consome recursos naturais, sejam elas renováveis ou não. Os recursos naturais são aproveitados pelo homem em seu estado natural ou em algum tipo de transformação. Em consequência, a disponibilidade dos recursos pelo qual se fundamenta a economia, por consequência de seu uso, entra em um processo de exaustão e escassez, comprometendo a disponibilidade dos recursos (ROSSETTI, 2010).

Observando de forma sistêmica, surge dentro da área das ciências econômicas, um novo diálogo, por meio da economia ecológica, que vem, então, por sua vez, discutir questões que anteriormente não eram consideradas relevantes (CHECHIN; VEIGA, 2010).

Georgescu-Roegen (1976) propõe uma visão de maneira sistêmica ao analisar a economia como um sistema aberto, onde há entrada de matéria e energia e saída de resíduos, que voltam à natureza de alguma forma. Considerando, desta forma, os feitos de entrada (*input*) e de saída (*output*) têm-se uma relação econômica e ecológica. O princípio da economia ecológica de Georgescu-Roegen se fundamenta na segunda lei da termodinâmica, a entropia. Esta lei considera que toda a energia empregada em um trabalho tende a se dissipar em calor que não será aproveitado novamente no mesmo processo (GEORGESCU-ROEGEN, 1976 apud SILVA e ZAPPAROLI, 2011; MAY, 2010).

2.2 O Sistema Econômico e a Economia Ecológica

Esta sessão apresenta o sistema econômico e sua interação com o ambiente.

A economia no século XIX, na qual a realidade econômica era estruturada basicamente pela agricultura, os meios de produção industrial eram em pequena escala e a visão dos economistas clássicos não observavam as condições econômicas que interagiam com o ambiente, que para estes eram considerada nula (HUGON, 1980 apud SILVA, 2012).

O ambiente, para a economia convencional, é analisada dentro do contexto da microeconomia, na qual são traçados parâmetros para o melhor aproveitamento de recursos com maior benefício e menor custo no aproveitamento dos recursos naturais. Não existia uma preocupação dentro da economia convencional com a gestão de resíduos (CAVALCANTI, 2010).

A economia clássica ou convencional apresenta um circuito, onde é apresentada uma dinâmica entre a relação dos “três fatores” de produção, onde o mercado vende para as empresas os insumos necessários para a produção, as empresas transformam estes insumos em bens ou serviços e ofertam para satisfazer as necessidades das famílias (CHECHIN; VEIGA, 2010).

A Figura 1 representa a visão proposta pelo sistema econômico convencional, onde o fluxo de bens de produção, o capital e o consumo se movimentam de forma circular, não levando em consideram as entradas e saídas do sistema.

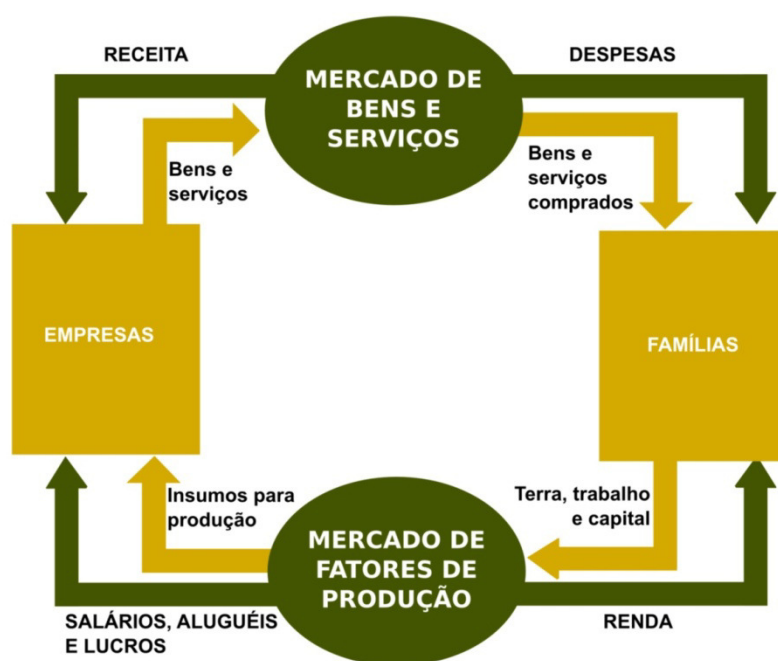


Figura 1: Modelo circular na economia convencional

Fonte: Adaptado de Chechim e Veiga (2010)

O sistema econômico é um sistema aberto, por haver troca de energia e matéria com o ambiente, no entanto, a economia convencional pressupõe que não há limites na relação entre as atividades humanas, o crescimento econômico e o ambiente (CHECHIN; VEIGA, 2010).

Outro fator a ser considerado é que todos os recursos são finitos e podem chegar à escassez. Adam Smith (1723-1790), considerado um dos pais da economia tradicional, autor da obra “Riqueza das Nações”, escrita em 1776, não observou o fator da escassez como um problema crucial. Para Adam Smith, a economia de mercado deveria ser algo livre, sem intervenções diretas, e essa liberdade, segundo ele, era movida por uma “mão invisível” que regularia de certa forma tudo o que estaria relacionado com a economia, desconsiderando o ambiente como uma variável fundamental (SANTOS, 2007).

As divergências quanto ao crescimento econômico foram o palco da discussão entre 1960 e 1970, com argumentos que defendiam a utilização dos recursos naturais de forma sustentável ou até mesmo o “crescimento zero”. Os fundamentalistas do chamado “crescimento zero” se pautam na teoria malthusiana, na qual a premissa de que com o aumento de produção, proporcionado pelo capitalismo, favorecendo a industrialização de alimentos, iria motivar um crescimento demográfico e com o avanço populacional, não seria possível garantir a demanda por bens e serviços, a elevação do nível de pobreza e miséria, além do aumento da poluição. Portanto, segundo os “zeristas”, a inibição do crescimento econômico iria garantir uma situação estável (ROMEIRO, 2012).

Os que se opunham para com este tipo de ação pragmática defendida pelos zeristas fomentavam um desenvolvimento próprio para todos os países, incluindo os mais pobres. O crescimento sustentável permite, segundo os defensores do eco desenvolvimento, também para os países mais pobres, meios para que possam se desenvolver de forma sustentável, evitando os mesmos erros impactantes no ambiente causado pelos países desenvolvidos (ROMEIRO, 2012).

Diante das circunstâncias, a economia clássica não responde todos os desafios do mundo moderno. Para a economia convencional, os fenômenos causados pelo movimento econômico não são irreversíveis, possibilitando um controle ambiental (ROMEIRO, 2011).

Balizada por conceitos da física, a economia ecológica também recebe contribuição de outras áreas, como, por exemplo, o das ciências biológicas. O sistema digestivo é uma forma de se compreender os conceitos da economia ecológica, em que o alimento é transformado em

energia para que o corpo possa se manter. No entanto este processo não consegue obter todo o aproveitamento da matéria e energia que entra em nosso organismo. Para a economia ecológica o ciclo econômico é como o sistema digestivo onde ocorre o metabolismo da matéria e energia, que entram neste sistema. A Figura 2 apresenta um modelo do processo metabólico que ocorre na economia, conforme a visão da economia ecológica (CAVALCANTI, 2010).

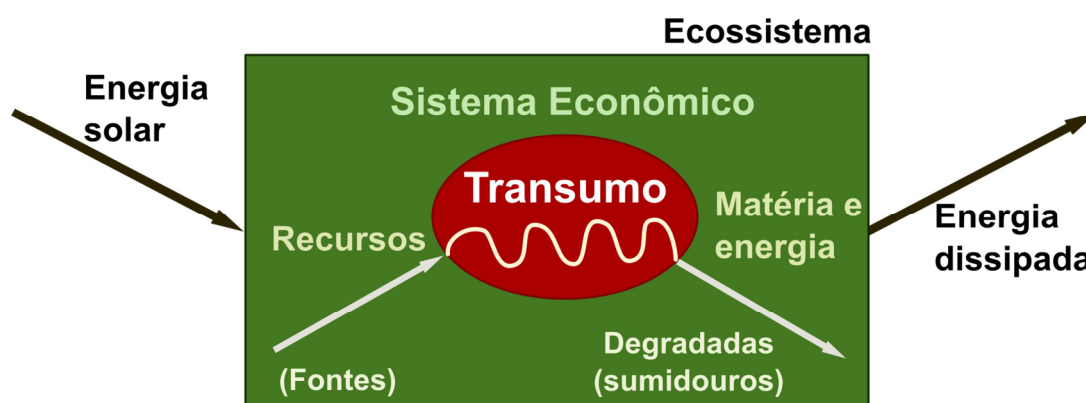


Figura 2: Modelo biofísico do sistema econômico
Fonte: Cavalcanti (2010)

O transumo é o acontecimento dentro de uma reação metabólica, no qual a energia e a matéria entram no sistema, observando que este é um sistema aberto, e o resultado desta reação irá gerar energia e matéria degradada (CAVALCANTI, 2010).

A economia ecológica busca compreender lacunas posteriormente não preenchidas pela economia convencional, que concerne à interação do homem com o ambiente. Aplicando a lei da termodinâmica, conforme a proposta de Georgesco-Reogen, admite que se a transformação de energia e matéria esteja em um estado aceitável de ordem tem-se uma “baixa entropia”, porém, se durante este processo, proporcionar um estado elevado de desordem no sistema é denominado de alta entropia, quando há um descontrole na geração de resíduos ou o não aproveitamento dos resíduos como uma nova entrada no sistema (CAVALCANTI, 2010).

O princípio da economia ecológica consiste em observar que a transformação e o uso de energia, na produção de bens e serviços. E neste processo a energia não aproveitada ou dissipada é considerada “inútil”. Por consequência há uma perda de energia e matéria (CECHIN & VEIGA, 2010).

Os combustíveis de origem fóssil como o petróleo e o carvão, são utilizados desde a Revolução Industrial, na geração de energia para alimentar os meios de produção. Consequentemente o uso destes recursos não renováveis tem proporcionado uma intensificação agressiva ao ambiente na liberação de gases de efeito estufa - GEE (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; POMPELLI et al., 2011).

Os combustíveis são meios para que se possa gerar energia com a finalidade de alimentar o sistema produtivo. A seguir será apresentada a relação dos combustíveis com o ambiente.

2.3 Os Combustíveis

Em geral, um combustível é uma substância que reage com o oxigênio, ou qualquer outro comburente, que é capaz de produzir calor, chamas e gases, de forma a produzir algum tipo de energia (DIONYSIO; MEIRELLES, 2014).

As eras geológicas proporcionaram transformações na matéria orgânica há mais de 300 milhões de anos. Assim, depósitos como troncos de árvores que submersos em regiões pantanosas passaram por um processo de fossilização originando a turfa e o carvão. Algas marinhas ricas em lipídios e bactérias que morreram e foram submersas em mares, passaram por um período de aquecimento global, que aconteceu, provavelmente, entre 150 a 90 milhões de anos, que, em conjunto com outros elementos, proporcionaram o elemento primário para a formação do que veio a ser o mais disputado recurso e fonte energética: o petróleo (CARVALHO, 2008).

Na sociedade primitiva a lenha era utilizada como fonte energética para o uso doméstico e de aquecimento. O custo dos recursos naturais não era significativo. Com o aumento da produção de energia por meio dos combustíveis fósseis, o ambiente passou a sofrer vários impactos negativos a partir da liberação de gases de efeito estufa (GEE). Foi na Revolução Industrial que o uso do combustível de origem fóssil passou a se intensificar (GOLDEMBERG & LUCON, 2007; POMPELLI et. al., 2011; ARBEX et. al., 2012).

O petróleo na sociedade moderna tornou-se o principal agente da matriz energética, colaborando fortemente com a economia mundial. Diante dessa realidade, se faz necessário refletir sobre uma futura escassez e os impactos causados ao ambiente por meio do uso massivo deste recurso. O petróleo, sendo uma fonte de geração de energia e matéria-prima para se obter outros tipos de produtos, causa disputa entre as nações, pois todo o mundo utiliza deste recurso para garantir seus bens de produção, o que propicia decisões drásticas nas decisões de esfera da geopolítica (BARROS, 2007).

Em todo o mundo, somente em alguns lugares é que se possuem depósitos consideráveis de poços de petróleo. No topo está o Oriente Médio, que mantém aproximadamente 65% do total do petróleo mundial, a Europa e a Eurásia concentra 11,7%, a África 9,5%, a América do Sul e Central cerca de 8,6%, América do Norte 5%, e na Ásia e no Pacífico 3,4%. A redução do uso dos combustíveis fósseis é eminente, é preciso considerar o uso de fontes energéticas renováveis de modo estratégico, para que se entendam e venham atender as necessidades do mundo moderno. Além da desvantagem dos outros países não disporem de reservas consideráveis, como a do Oriente Médio, a comercialização do petróleo está a mercê de tensões que ocorrem naquela região, promovendo uma insegurança mundial no fornecimento do petróleo (ESCOBAR et al., 2009; FRANCO et al., 2013).

A geração de energia utilizando algum tipo de combustível é tida como um marco na história da humanidade, pois possibilitou um maior potencial para os meios de produção. No entanto, os combustíveis fósseis proporcionam em sua combustão a liberação de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2) e o dióxido de enxofre (SO_2), agredindo a atmosfera terrestre. Logo, a combustão em motores, seja de veículos ou geradores de energia, libera gases que aceleram o chamado efeito estufa, provocando um desequilíbrio climático e ou ambiental (FARIA, 2010; POMPELLI et. al., 2011).

Os combustíveis são os principais produtos gerados a partir do refino do petróleo. Um barril de petróleo é responsável por quase que 100% na produção de combustível de origem fóssil. A Figura 3 apresenta o destino final por barril de petróleo (BRASIL, 2014a).

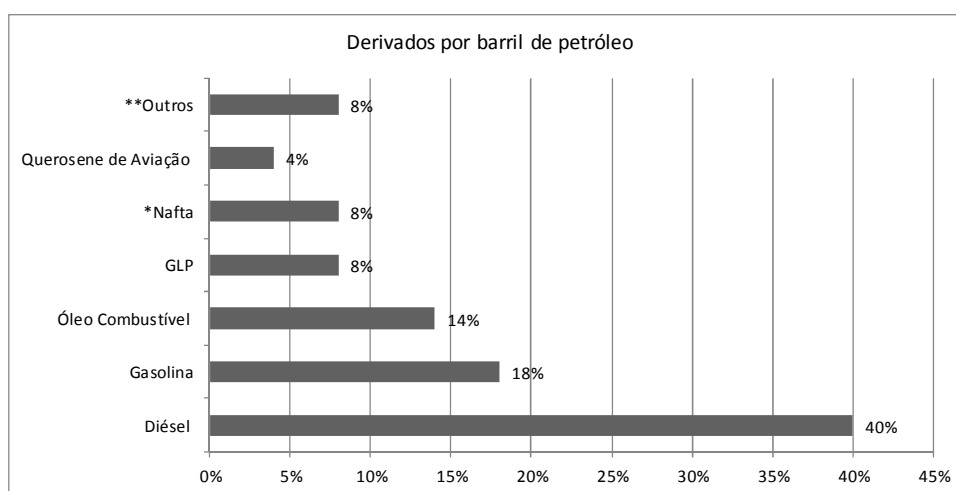


Figura 3: Percentual de produtos produzidos por barril de petróleo

Um grande contribuinte na intensificação do efeito estufa são os meios de transporte, que em sua maioria utilizam recursos não renováveis como combustível. O Brasil possui uma grande frota de modal rodoviário responsável pelo transporte de pessoas e mercadorias (BRASIL, 2014; GONÇALVES; MARTINS, 2008).

A Tabela 1 apresenta a utilização de recursos energéticos no setor de transporte no ano de 2013 (BRASIL, 2014a).

Tabela 1: Participação das fontes de energia no setor de transporte

Recurso energético	Participação em %
Óleo diesel	46,4
Gasolina	29,4
Etanol	14,3
Querosene de Avião	4,3
Biodiesel	2,3
Gás natural	2,0
Outras	1,3
Total	100

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional, dados de 2013 (BRASIL, 2014)

Observa-se, na Tabela 1, que as fontes predominantes no setor de transporte são de origem não renovável. Comparando os dados da Tabela 1, em conjunto a Figura 1, percebe-se que a produção do diesel é maior em decorrência da sua utilização como fonte de energia.

O óleo diesel se comparado com a gasolina, chega a ser sete vezes mais nocivo ao ambiente e à saúde humana. Em sua combustão, o diesel libera partículas que agridem a saúde humana, sendo que estas partículas chamadas de aerossóis orgânicos secundários, contribuem também para a aceleração do aquecimento global (GENTNER et al., 2012).

2.4 Posição brasileira contra as emissões

Como observado às fontes para se produzir e consumir energia ainda é de origem fóssil, gerando emissões e poluentes, proporcionando um impacto ambiental. É necessário, contudo, adotar políticas sólidas pertinentes à geração de energia, assegurando a economia e mitigando as emissões. (GOLDEMBERG, 2007).

As condições climáticas, e aqui se destaca o efeito estufa, que em uma condição natural permite meios para o desenvolvimento da vida. Porém, as causas da poluição antropogênica, isto é, geradas pelo homem, contribuíram para que o desequilíbrio climático viesse a trazer consequências danosas. Entre as principais causas estão as emissões de gases de efeito estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂), onde sua concentração é intensificada na atmosfera. Embora o fator climático tenha apresentado uma situação preocupante de forma mundial, a economia como um todo, basicamente gira em volta da obtenção de recursos, para que se possa gerar bens e serviços. Os recursos podem ser classificados como renováveis ou não renováveis, os renováveis ou reprodutivos são os mais comuns da natureza, como a água, o ar, o solo e a vegetação como um todo. Já os “não renováveis” ou exauríveis compõem um conjunto de reservas incompatíveis com a longevidade do homem, isso quer dizer que o ciclo de formação deste tipo de recurso, como por exemplo, o petróleo, necessita de um período geológico muito maior da linha de tempo do homem (PEREIRA; MAY, 2010; SILVA, 2010).

Entre os problemas ambientais, o de maior destaque é o aquecimento global, que tem atraído várias discussões em todo o mundo. Mesmo com a proibição ou controle de gases nocivos a camada de ozônio como o clorofluorcarbonetos (CFC), restrita a alguns segmentos de mercado como ar condicionado e geladeiras. O Brasil por meio da Portaria n.º 647 de 30 de

jun/1988 proíbe a utilização de clorofluorcarbonetos em produtos, como cosméticos e perfumes, sob a forma de aerossóis. A mitigação das emissões ainda é uma barreira a ser ultrapassada, pois um dos piores contribuintes para o aumento do efeito estufa é a queima dos combustíveis fósseis. (COHEN, 2010; BRASIL, 2014).

O aumento do consumo é incentivado por meio do viés capitalista, o que é exigido uma maior quantidade no uso de recursos, sejam eles renováveis ou não, e a geração de energia para que se possa manter a demanda consumista. Em 1970 houve o primeiro choque do petróleo afetando a economia mundial elevando os custos de produção. Para que se possa contornar a situação econômica e ambiental, a ciência e a tecnologia se unem para que se possa criar novos meios para se gerar energia sem prejudicar o ambiente de forma catastrófica (SILVA, 2012).

O Brasil possui uma situação favorável por meio da geração de energia proveniente de recursos hídricos. No entanto, em países onde este recurso é escasso ou inviável, se faz necessário a utilização de recursos provenientes de combustíveis fósseis para garantir o desenvolvimento econômico e demais comodidades alcançados pela tecnologia atual. De qualquer forma, a produção de energia é um dos processos que mais impactam o ambiente (MENEGUELLO; CASTRO 2007).

Medidas políticas em todo o mundo são necessárias para que se possam estabelecer normas e acordos entre as nações de forma a criar uma proteção e o uso adequado dos recursos naturais dispostos no ambiente. O Protocolo de Kyoto, uma conferência de 1997, promoveu uma medida entre 84 países com a participação das Nações Unidas (ONU), onde um compromisso foi estabelecido sobre a discussão das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ferramentas foram criadas em Kyoto com a proposta de uma gestão responsável na redução das emissões. Uma das ferramentas criadas surgiu a partir de uma iniciativa brasileira, o Fundo de Desenvolvimento Limpo, dando origem ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que tem por proposta, punir financeiramente os países industrializados que não cumprirem com suas metas estabelecidas na redução das emissões. (MENEGUELLO; CASTRO, 2007).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) também tem por proposta a elaboração de projetos de forma que venha reduzir as emissões de CO₂. Para cada tonelada de CO₂ não emitida ou mesmo subtraída do ambiente é gerado uma unidade de crédito de

carbono, que é denominada de Redução Certificada de Emissões (RCE). Um Comitê Executivo (CE), sob orientação da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), ou Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima é responsável em registrar os projetos e as metodologias que buscam reduzir as emissões. O Brasil atualmente é apontado como o 3º na elaboração de projetos registrados no Comitê Executivo sobre a MDL, contando no ano de 2013 com 323 projetos. A Índia vem em segundo lugar com a marca de 1.484 e na liderança a China com 3.744 (BRASIL, 2014).

O Brasil tem apresentado respostas positivas em suas propostas de mitigar as emissões de GEE no ambiente. Houve um aumento na frota de veiculares de 100% entre o ano de 2002 e 2010. No entanto, é registrada por meio de uma pesquisa do Ministério do Meio Ambiente (MMA) uma redução significativa das emissões neste período. Por meio desta pesquisa foi elaborado um inventário das emissões dos principais veículos rodoviários com base no ano de 2013. Os indicadores analisaram gases como hidrocarbonetos não-metano (NMHC) e monóxido de carbono (CO).

A Tabela 2 apresenta os dados tabulados pelo inventário de redução de emissões por veículos automotores rodoviários (BRASIL, 2014).

Tabela 2: Inventário da redução das emissões de GEE - MMA

Indicadores de GEE	Ano 2002	Ano 2010	%
CO	2,61	1,25	-52,1
NOx	1,27	1,10	-12,9
MP	67,90	37,23	-45,2
HC	0,46	0,25	-45,1
Frota	24,35	48,78	+100,4

Fonte: Adaptado de Ribeiro, (2014)

Diante dos dados do inventário apresentado na Tabela 2, percebe-se que mesmo havendo um aumento da frota de veículos superior a 100% entre 2002 e 2010, verifica-se uma redução nas emissões. Esta redução pode estar ligada aos seguintes fatores a) combustíveis

com menor concentração de enxofre; b) a entrada dos carros flex em 2003 e c) a utilização do etanol e biodiesel como aditivos (BRASIL, 2010; RIBEIRO, 2014).

Ressalta-se que na conferência de Copenhague, em 2009, o Brasil se comprometeu livremente em reduzir até 2020 o equivalente a 1Gt CO₂. Os biocombustíveis, por sua característica renovável, promovem de forma significativa no cumprimento do compromisso assumido. Além da proposta da redução das emissões por meio dos biocombustíveis é que os resíduos gerados na produção do etanol ou o biodiesel, como o bagaço da cana-de-açúcar, podem ser aproveitados para a cogeração de energia elétrica (ABRAMOVAY, 2010; BRANCO, 2009).

2.5 Biocombustíveis

Desde a década de 70, a preocupação das emissões de GEE por meio de veiculares, passou a ser objeto de discussão entre as nações, o que impulsionou um novo olhar para com os biocombustíveis. Nos anos 80, pesquisadores buscaram apresentar para os governos a situação alarmante sobre o aquecimento global em decorrência da queima de combustível fóssil, que se apresentava com um impacto ambiental muito maior se comparado com os registros históricos. O Brasil, já com sua experiência com a cultura da cana-de-açúcar, e os Estados Unidos com a do milho, focaram suas pesquisas na produção do etanol combustível, enquanto países como o Japão e a União Europeia mantiveram suas posições, em um primeiro momento, de menor interesse. As inovações tecnológicas da década de 90, no ramo automotivo, como a injeção eletrônica e o catalisador de três vias, contribuíram de forma significativa com a redução das emissões, no entanto, no Brasil o mercado do etanol já estava começando a se estabilizar (LEITE; LEAL, 2007).

Os fatores econômicos favoreceram de forma impactante as decisões a serem tomadas para que se permitisse a redução na dependência no recurso de maior uso como fonte energética, o petróleo. Sua utilização como fonte energética é marcante em todo o mundo. Os choques que ocorreram ao longo do tempo, que delinearam entre a escassez e o aumento do preço do petróleo instigaram a busca por recursos que fossem economicamente viáveis e

atendessem a demanda energética. A Figura 4 apresenta a introdução dos biocombustíveis em uma linha do tempo no contexto estratégico e econômico do Brasil (BRASIL, 2014a).

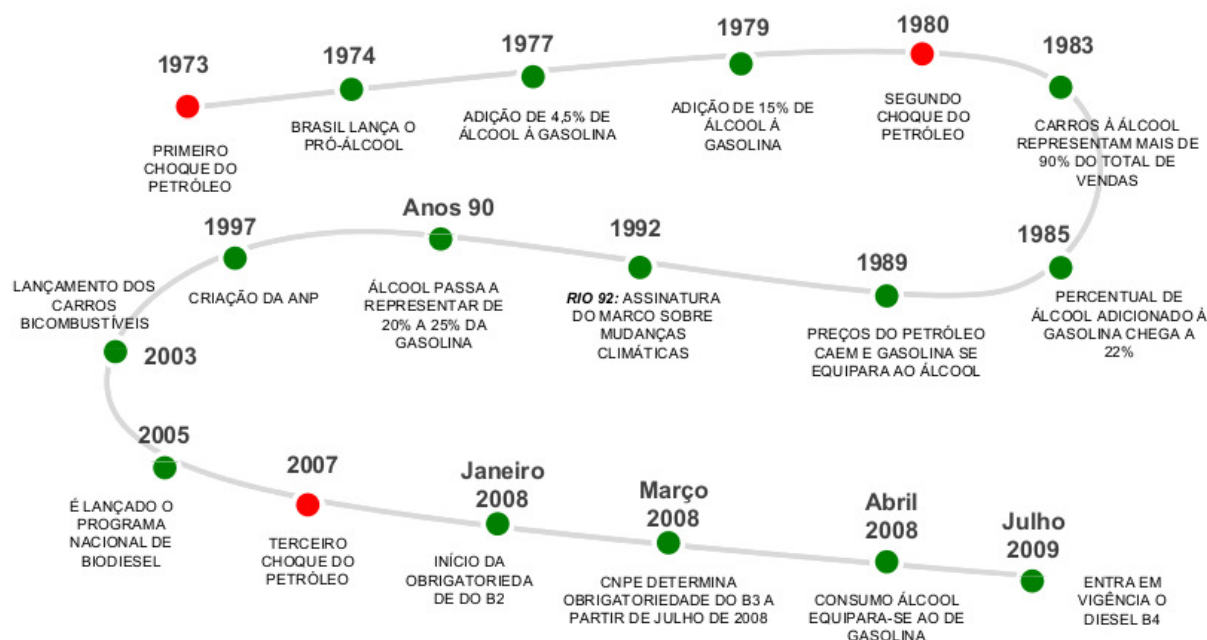


Figura 4: Evolução dos biocombustíveis no Brasil
Fonte: ANP. Brasil, (2010)

O Brasil possui uma experiência na produção de biocombustível, o etanol, que se deu inicialmente por um fator econômico, o aumento do preço do petróleo na década de 70. Em resposta para diminuir a dependência do petróleo, surge por meio do decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975 o Programa Nacional do Álcool (Proalcohol). Diante desses fatos o Brasil vem passando por transformações de aspectos econômicos, sociais e ambientais (KOHLHEPP, 2010; BRASIL, 2014).

Em 2004 foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). No ano de 2005 o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira por meio da Lei 11.097. Este biocombustível encontrou seu espaço no mercado, não só no Brasil. Primeiramente, a França, que chegou a ser a primeira na produção do biodiesel, hoje a Alemanha lidera o espaço em produção. A União Europeia tem intensificado seu interesse na produção do biodiesel, o motivo é sua frota de veiculares que é basicamente movida a diesel (PRATES et al., 2007).

Conforme apresentado na linha do tempo da Figura 4, em 2008 foram adicionados 2% de biodiesel, denominado de (B2), que é a representação em percentual misturado na composição do diesel. Em 2010, a adição do biodiesel passou para 5%. Atualmente, a Medida Provisória de n.º 614/2014 define o uso do (B7), portanto, passando para 7% na composição do diesel (BRASIL, 2014b).

Dentro da economia nacional o biodiesel se estabeleceu por meio de incentivos do governo, como o aumento na participação do biodiesel no diesel, o que promoveria um aquecimento na produção. Outro incentivo é a aquisição da produção proveniente da agricultura familiar. O grande produtor pode então adquirir o “Selo Combustível Social” quando este mantém sua produtividade em conjunto com agricultura familiar. O selo confere o direito à redução de tributos e impostos (BRASIL, 2012).

A produção dos biocombustíveis, por serem adquiridas por meio de fontes renováveis como a cana-de-açúcar, milho e beterraba, para o etanol e oleaginosas para o biodiesel, apresentam grandes vantagens com relação às emissões de GEE se comparado com os combustíveis fósseis. Outro biocombustível que se encontra no rol das pesquisas e está conquistando seu espaço na geração de energia é o biogás, que pode ser produzido por meio da biomassa ou dejetos de animais como, por exemplo, a dos suínos. Os biocombustíveis, como alternativa energética, possibilitam a redução de impactos nocivos ao ambiente. Sua eficiência intensificou diversas pesquisas, almejando um maior aproveitamento da biomassa, com a intenção de garantir um rendimento na produção desta fonte energética. Atualmente, novas tecnologias proporcionaram um novo conceito para os biocombustíveis, agora chamados de biocombustíveis de segunda geração. Destaca-se neste conceito o etanol de segunda geração que pode ser produzido por novos processos, aproveitando ainda mais os insumos e resíduos do próprio etanol, como o bagaço e palha da cana-de-açúcar, aumentando a produção do etanol (LEITE; LEAL, 2007; FIGUEREDO; FILHO, 2009).

As vantagens dos biocombustíveis estão ligadas, principalmente, à redução das emissões de CO₂ e a um cenário em que a geração de novos empregos se tornam necessários para garantir que este recurso energético se solidifique no mercado. Ressalta-se que na conferência de Copenhague, em 2009, o Brasil se comprometeu livremente em reduzir até 2020 o equivalente a 1Gt CO₂. Os biocombustíveis, por sua característica renovável,

promovem de forma significativa no cumprimento do compromisso assumido. (ABRAMOVAY, 2010; BRANCO, 2009).

No seguimento da produção de biocombustíveis, destaca-se o etanol. O Brasil possui uma experiência em percurso há 40 anos, os custos de produção atualmente são os mais baixos. E é considerado o segundo maior produtor deste biocombustível (NYKO et. al., 2010).

Em concordância com a Lei n. 9.478/1997, em 2011, foi incorporada junto a matriz energética do Brasil, a contribuição dos recursos renováveis na geração de energia, permitindo um maior espaço aos biocombustíveis no território nacional, mitigando as emissões e contribuindo com novas pesquisas para produção energética (FEAM, 2014).

O panorama brasileiro em relação ao uso de fontes renováveis para a produção de energia é extremamente invejável. Pode-se observar que na Figura 5 o cenário destacado em todo mundo. Atualmente a matriz energética nacional conta com aproximadamente 41% de produção de energia por meio de fontes renováveis, enquanto que o restante do mundo com 13%. As estimativas apresentadas estão fixadas entre os anos de 2011 e 2013 (BRASIL, 2014).

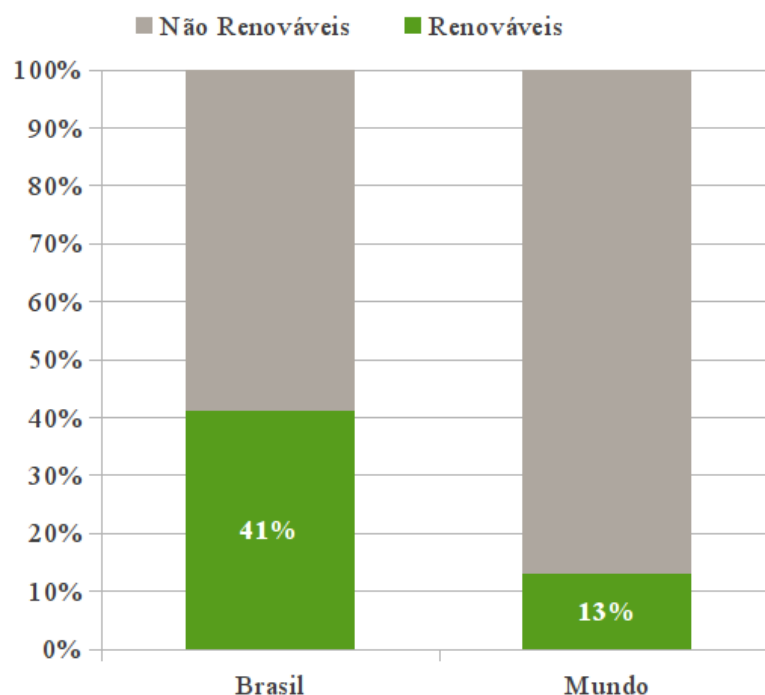


Figura 5: Participação de recursos renováveis na matriz energética brasileira – EPE
Fonte: Brasil, (2014)

O Brasil possui uma grande capacidade de gerar biomassa, o que permite intensificar a produção de biocombustíveis. A capacidade arável brasileira está em 330 milhões de hectares. A projeção, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) no uso de recursos renováveis na matriz energética é que sua participação chegue em 46,6% até o ano de 2030. Conforme a mesma estimativa, a produção do etanol pode chegar a mais de 60 bilhões de litros para um consumo de 50 bilhões. Para o biodiesel é estimado uma produção de 18 milhões de m³ (BRASIL, 2007; BRASKEM, 2014).

O incentivo no uso de fontes renováveis como o caso dos biocombustíveis e de outros meios de geração de energia denominada de “limpa”, estão associados à escassez dos recursos naturais e ao mercado que envolve o petróleo, que está sujeito a decisões políticas sem controle (NUNES; MANHÃES, 2010).

3 A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Esta sessão busca evidenciar a importância da Análise do Ciclo de Vida frente aos fatores econômicos e ambientais já apresentados.

No final do século XIX, destaca-se o trabalho do economista Patrick Geddes. Este propôs analisar em uma tabela o fluxo de entradas e saídas, observando a energia e a matéria empregada em um determinado processo. O economista buscou analisar as fases de extração, manufatura, transporte e comercialização. O objetivo era aplicar o conceito de exergia, que também é um conceito da termodinâmica, que permite avaliar as perdas de energia em um sistema e estimar as perdas ocorridas. Geddes avaliou a dissipação e desintegração da energia e matéria em cada uma das fases (PORTO, 2007; COSTA et al., 2012).

Um dos primeiros registros que se tem, além do estudo de Patrick Geddes, é a pesquisa elaborada por meio da Indústria de bebidas Coca-Cola *Company*. A pesquisa de caráter interno aconteceu no ano de 1969 e tinha por intenção comparar quais os tipos de embalagens de bebidas causaria o menor impacto no ambiente. Nesta pesquisa foram considerados o transporte, o uso da matéria-prima e as cargas no ambiente, no processo de fabricação das embalagens. A Análise de inventário aplicado pela Coca-Cola resultaria base para as metodologias utilizadas atualmente. Na década de 60 com a crise do petróleo, surge a preocupação e o questionamento frente à extração do petróleo e a limitação dos recursos naturais. Em um primeiro momento, os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) eram denominados de Análise de energia “*energy analysis*” nos quais se considerava um fluxograma dos processos de entrada de massa e energia, quantificando os dados de entrada de matéria-prima e combustíveis fósseis e contabilizando a geração de resíduos. Por se tratar de uma metodologia que traça parâmetros na utilização de recursos a ACV também foi conhecida como Análise de recursos “*resource analysis*” ou mesmo Análise do perfil ambiental “*environmental profile analysis*” (COLTRO, 2007).

Embora os resultados tenham se apresentado de forma favorável ao comprometimento estabelecido pelo Brasil na conferência de Copenhague, é preciso que se saiba avaliar e quantificar os impactos que as emissões ou mesmo o processo de combustíveis e biocombustíveis acarretam ao ambiente. Como proposta a aplicação de uma Avaliação do

Ciclo de Vida permite que se possa identificar quais os impactos que um determinado produto possa causar no ambiente, bem como as fases dos seus processos de industrialização (COLTRO, 2007).

Logo após a crise do petróleo, o interesse pela ACV tornou-se enfraquecido, no entanto, nos anos 80 com a grande preocupação mundial, referente às questões ambientais, o estudo da Avaliação do Ciclo de Vida retorna com maior vigor. O interesse pelo estudo da ACV expandiu em tal proporção que foram estabelecidos normas para sua aplicação. Tornou-se necessário o estabelecimento de um padrão único, visto que várias formas de aplicação que aparentemente eram iguais apresentavam dados diferentes quando da sua aplicação. Em decorrência destes fatos, cria-se a ISO 14040, em 1997, estabelecendo uma padronização metodológica para a aplicação da ACV. Uma das organizações que colaborou com os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida foi a SETEC “*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*”, que possibilitou a reunião de vários pesquisadores e trabalhos que envolviam o estudo de ACV. A padronização da ISO 14040 contou com a participação de 29 países e 300 especialistas em Avaliação do Ciclo de Vida (COLTRO, 2007).

A metodologia aplicada por meio da ACV tem por finalidade observar os impactos de um sistema de industrialização do “berço ao túmulo”, sendo, desde a extração e contabilização da matéria-prima até o retorno (resíduos) que um determinado produto devolve ao ambiente (EPA, 2006).

O estudo da ACV está interligado com a vertente do desenvolvimento sustentável. A Figura 6 representa a cadeia de troca de energia e matéria entre os sistemas, como a economia, o ambiente e a sociedade.



Figura 6: Conceito de gerenciamento da aplicação da ACV
Fonte: Adaptado do site do Instituto Nacional de Ciência Industrial Avançada e Tecnologia do Japão (AIST, 2014)

No Brasil, foi criado o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), que tinha por finalidade acompanhar os trabalhos do Comitê Técnico 207 (TC207) de Gestão Ambiental, que deu origem a série ISO 14000. O GANA foi criado junto com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), em 1994, sendo extinto no ano de 1998 e substituído, em abril de 1999, pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental o CB-38, que tem por base os mesmos princípios estruturais do TC207. O CB-38 também foi criado pela ABNT e tem por finalidade assegurar, por estabelecimento de normas, que as empresas tenham o melhor desempenho na gestão ambiental (POMBO e MAGRINI, 2008).

A Associação Brasileira de Normas (ABNT), comprometida conjuntamente com o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, e tendo por base a ISO 14040, estabeleceu no ano de 2000, a normalização NBR ISO 14040. Outra iniciativa de grande auxílio na gestão ambiental foi o apoio da ABNT na elaboração da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), além de incentivar trabalhos e pesquisas que foram surgindo para que a base conceitual da ACV se tornasse cada vez mais sólida (JUNIOR, 2008).

Em 1998, foi lançado um importante livro para a história da ACV no Brasil, com o título de “Análise de Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000”, de autoria de José Ribamar Chehebe. O livro aborda a importância da metodologia da ACV dentro do ambiente empresarial, como uma ferramenta nas ações ambientais (LIMA, 2007).

Desde as primeiras aplicações da ACV no Brasil, no ano de 2000, o uso desta ferramenta tem despertado o interesse de várias instituições na busca de consolidar a

adequação do uso correto do ambiente. Entre estas instituições, destaca-se o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), com o Projeto Brasileiro de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) e, por meio da Resolução n.º 4 de 15 de dezembro de 2010, é estabelecido o Programa Brasileiro de Ciclo de Vida sob condução do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), o qual define a aplicação da ACV como uma ferramenta que permite consolidar melhorias e oportunidades em diversos produtos. O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) aproxima-se da Indústria e do comércio, por meio do projeto de Avaliação de Ciclo de Vida. Ressalta-se, também, que entre estes se encontram a Universidade Estadual de São Paulo e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Em fevereiro de 2014 a UTFPR promoveu o “Workshop Internacional de Avaliação de Ciclo de Vida e Pegada Hídrica”. A realização do evento contou com a participação e apoio da “*United Nations Environment Programme*” (UNEP) e também da ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida (SILVA, 2012; INMETRO, 2014; UTFPR; 2014).

A utilização da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta no controle de gestão ambiental necessita de um forte empenho entre os governos e um fortalecimento na experiência da aplicação da ACV. Esta ferramenta metodológica permite ainda alavancar os setores empresariais em tomadas de decisões de forma estratégica dentro do sistema produtivo (JUNIOR, 2008).

No Brasil a Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010, aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta lei deu-se por meio da Análise do Ciclo de Vida da logística reversa, do produto e aplicações sustentáveis, de produção e do consumo (BRASIL, 2014).

O território brasileiro é privilegiado por sua capacidade produtiva no setor agrônomo. Outro fator extremamente favorável ao Brasil é a composição dos recursos hídricos, sendo que cerca de 18% de água doce em todo o mundo estão em território brasileiro. Dentro desta perspectiva de produção agroindustrial, é estimado que até o ano de 2023 o país tenha a capacidade de abastecer 200 milhões de brasileiros e exportar o excedente produtivo em até 200 países. Diante da realidade produtiva brasileira e suas projeções agroindustriais, o estudo de uma Avaliação do Ciclo de Vida proporcionaria um entendimento maior da cadeia produtiva e suas implicações para o ambiente, proporcionando, colaborar

com uma agricultura amigavelmente ambiental e atender as exigências do mercado externo de forma sustentável (RUVIARO et al., 2012).

3.1 Avaliação do ciclo de vida

Esta sessão busca elucidar os conceitos sobre a aplicação de uma Análise do Ciclo de Vida e suas etapas.

De forma geral a ACV possibilita o avaliador acompanhar a extração da matéria-prima, o uso de insumos e de energia de um determinado produto, fornecendo informações que permita mensurar o impacto ambiental que possa ocorrer por emissões de poluentes na água, no solo e no ar. O acompanhamento da ACV deve estar de acordo com a *International Organization for Standardization* (ISO) e os dados devem ser coletados de forma criteriosa em conformidade com a ISO 14040. O uso da ACV contribui para que se possam tomar decisões nos processos de extração, produção e transporte (Frischknecht e Büsser Knöpfel, 2013).

No Brasil a Avaliação do Ciclo de Vida é regida pela NBR ISO 14040 que está regulamentada pela norma internacional.

O estudo de uma ACV compreende a utilização dos insumos e do resultado final do processo, levando em consideração os aspectos ambientais envolvidos no sistema a ser avaliado (NBR ISO 14040:2009).

Para Coltro (2007) a ACV permite avaliar os possíveis impactos causados pela extração de recursos naturais e a disposição de um determinado produto e até seu destino final.

Na Figura 7 são apresentadas as etapas de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida estabelecida pela NBR ISO 14040:2009.

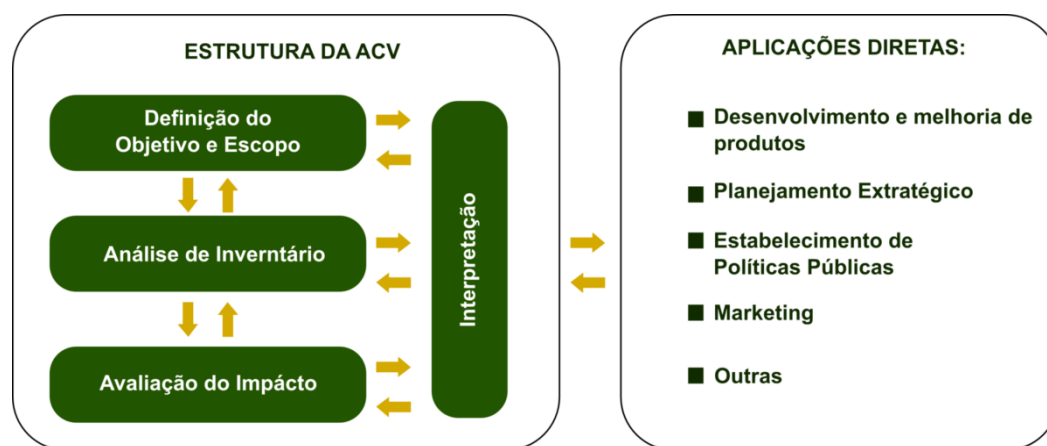


Figura 7: Etapas de um estudo de ACV

Fonte: adaptado da NBR ISO 14040

O estudo de ciclo de vida destina-se a avaliar o percurso da “vida” até a “morte” de um determinado produto ou serviço, considerando as etapas de entrada e saídas do processo (USEPA, 2001 *apud* FERREIRA, 2004).

A aplicação da ACV é dividida em quatro fases ou etapas, que se interligam, para que se possam analisar os dados obtidos. Conforme ISO 14040:2009, as fases se ordenam em Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário, Análise de Impacto e Interpretação dos Resultados.

Conforme Coltro (2007), o objetivo e o escopo devem definir a amplitude do estudo, estabelecendo suas fronteiras, além da definição da unidade funcional, o qual se refere à quantidade do fluxo que será aplicado a ACV. As categorias dos impactos ambientais também devem ser definidas nessa fase.

Coltro (2007) ainda diz que, na Análise de inventário, deve-se criar um fluxograma definindo o sistema a ser estudado, bem como suas atividades e processos que serão aplicados à ACV. Será feito um levantamento de dados analisando as entradas e saídas do sistema. Este levantamento de dados foram compilados, em que as cargas ambientais foram aplicadas como base de cálculo para a unidade funcional.

Na etapa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) serão abordados os impactos ambientais, tais como definidas no escopo. Em um primeiro momento, nesta etapa,

os dados foram classificados e atribuídos conforme a categoria estabelecida. Logo após, realizou-se a caracterização dos dados por equivalência. Os dados do inventário serão multiplicados para cada categoria de impacto. Após a obtenção dos parâmetros, serão somadas as categorias de impactos obtendo o resultado das categorias (COLTRO, 2007).

A aplicação de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida pode basicamente ser realizada com coleta de dados de fontes que possam fornecer dados para se inventariar os processos que se deseja avaliar.

Obedecendo as normas estabelecidas pela ISO 14040, cita-se o trabalho de Soam et. al (2015), realizado na Índia. Esta pesquisa utilizou como metodologia a coleta de dados da literatura disponibilizada e dos relatórios governamental indiano. Neste contexto foi analisada a produção do etanol a partir do melaço. O objetivo de Soam et. al (2015) foi estimar as emissões de GEE e permitir uma tomada de decisões nas políticas da produção de biocombustível da Índia frente aos resultados apresentados. Uma planilha de calculo foi utilizada para armazenar e calcular as emissões.

O uso da tecnologia é favorece de forma significativa um estudo de ACV, pois softwares especializados permitem definir um inventário, metodologias para mensurar impactos ambientais, armazenamento dos dados e cálculo das emissões.

A seguir serão apresentados alguns softwares que possibilitam facilitar a aplicação de uma Avaliação do Ciclo de Vida.

3.2 Softwares para ACV

Algumas ferramentas computacionais foram criadas para colaborar com a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Estas ferramentas trabalham com uma base de dados inventários de determinados recursos utilizados em processos de produção de produto.

Entre as opções de softwares para a aplicação da ACV cita-se o Gabi, esta ferramenta foi desenvolvida por uma empresa alemã a PE INTERNATIONAL. O Gabi permite que o usuário construa um fluxograma dos processos observando as entradas e saídas do sistema. Esta ferramenta está no mercado desde 1990 e é utilizado em todo mundo por pesquisadores e empresas. Entre as metodologias de impacto no ambiente estão o EDIP e o CML 2001. Entre

suas bibliotecas de inventário estão o *Ecoinvent*, uma base de dados gratuita e largamente utilizada para ACV, o *Gabi Database* criado pela própria PE INTERNATIONAL e o *U.S. LCI*. Entre as empresas que já utilizaram o Gabi destacam-se a Unilever e a Volkswagen (GABI-SOFTWARE, 2015; HERMANN e MOLTESEN, 2014).

O Umberto NXT é outro software alemão representado pelo Instituto de Ciências da Computação Ambiental Hamburg GmbH que permite criar uma modelagem de um processo. Este software utiliza em sua base de dado de inventários o *Ecoinvent* e o *Gabi Database* entre outros (LÜDEMANN e FEIG, 2014).

Um outro software utilizado para a Avaliação do Ciclo de Vida é o Simapro. Este software foi criado e também mantido pela *Pré Consultants*. O Simapro, assim como o Gabi, utiliza as metodologias EDIP, CML 2000 e CML 2001 como base para cálculos das categorias de impactos ambientais. O software também contempla outras metodologias como o EPD e Recipe Midpoint, além de uma lista considerável metodologias. Entre a relação da base de dados de inventários, como no Gabi e no Umberto está o *Ecoinvent*, o *Agri-footprint* próprio para a agricultura e o *European reference Life Cycle Database* que é destinado a indústria química, além destes citados há outras bases de inventário como o *U.S. Life Cycle Inventory Database* e o *Input Output databases*. As vantagens do Simapro entre o Gabi e o Umberto, além da quantidade considerável de metodologias e bibliotecas de inventários, é que o Simapro pode ser instalado em 14 idiomas diferentes, entre elas o português, alemão e o francês (PRÉ, 2015; LÜDEMANN e FEIG, 2014).

Para este trabalho o software escolhido foi o Simapro por sua versatilidade de idioma e facilidade de uso. Além de haver uma representação desta ferramenta no Brasil pela empresa ACV Brasil. Originalmente o Simapro é instalado em ambiente Windows, porém foi possível efetuar sua instalação em ambiente de distribuição Linux.

3.3 Aplicação da ACV no Setor Sucroalcooleiro

Ometto (2005) desenvolveu seu trabalho aplicando a ACV, utilizando um modelo metodológico baseado no *Environmental Development of Industrial Products* (EDIP). Assim,

empregando os conceitos de Exergia e Emergia, para quantificar o impacto ambiental causando na produção do álcool etílico hidratado.

Conforme Ometto (2005) o EDIP é uma biblioteca conceituada com um imenso inventário de processos constituído, principalmente, pelo Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca e indústrias dinamarquesas. O EDIP é conceituado e mundialmente utilizado por sua aplicação técnica e científica.

Além da base de dados provenientes do EDIP, Ometto (2005) utilizou os conceitos de Exergia e Emergia.

Explica Ometto (2005), que se todas as transformações fossem regidas pela primeira lei da Termodinâmica, onde se diz que nada se perde tudo se transforma, então haveria sempre a possibilidade de se usar e reutilizar a mesma energia empregada várias vezes.

Então no desenvolvimento do seu trabalho, Ometto (2005) esclarece que em qualquer trabalho que se empregue algum tipo de energia, esta virá a se dissipar podendo impactar de forma nociva o ambiente.

Para observar tal fenômeno, Ometto (2005) emprega em sua estrutura metodológica a Termodinâmica, área da Física, evidenciando a exergia, que analisa a qualidade da energia empregada em um determinado trabalho útil observando sua potência máxima, além do que foi perdido em processos físico-químicos, correlacionando-os com os impactos ambientais.

Além da exergia, Ometto (2005) apoia-se na valoração ambiental por meio da emergia. Paraphraseando Odum (1996), Ometto (2005) explica que o conceito de emergia é o emprego da energia solar equivalente para a produção de algum tipo de energia ou matéria. A emergia permite que se possa quantificar a utilização de energia dentro de uma cadeia de produção, iniciando pela matéria prima, manufatura, distribuição até seu pós-consumo.

Para a coleta de dados à ser aplicado a ACV, Ometto (2005) valeu-se de dados de fazendas do município de Ribeirão Preto no estado de São Paulo, bem como de usinas da mesma região.

Para a manipulação dos dados elencados por Ometto (2005) foi utilizado o software Simapro. Sendo que a aplicação da ACV segue a normalização da ISO 14040 e NBR 14040 onde são definidas as etapas metodológicas para o desenvolvimento de uma Avaliação do Ciclo de Vida.

Os resultados do trabalho de Ometto (2005) demonstram que na Avaliação do Ciclo de Vida da produção do álcool etílico hidratado, o processo de colheita da cana-de-açúcar proporciona um maior impacto no consumo de recursos renováveis. Impactando ainda no aquecimento global, a acidificação e na toxicidade humana.

Continuando com a demonstração dos resultados, Ometto (2005) diz que o trato do solo ainda contribui no impacto no maior consumo de recursos não renováveis e para a ecotoxicidade da água. Além da eutrofização e ecotoxicidade do solo.

Finalizando, Ometto (2005), sugere que para contribuir de forma significativa no ciclo de vida do álcool etílico hidratado, deve-se eliminar o uso das queimadas, reduzir o uso dos agrotóxicos nas lavouras e na redução de combustível fóssil.

Outro estudo no setor sucroalcooleiro na Avaliação do Ciclo de Vida do etanol foi realizado por Silva (2012) aborda uma Análise econômica, social e ambiental por meio de uma usina no noroeste do estado do Paraná.

Silva (2012) aplica a Análise do Ciclo de Vida norteado pela ISO NBR 14040 avaliando as etapas do plantio, colheita e o transporte da cana-de-açúcar até a usina e o etanol hidratado até o porto de Paranaguá.

Assim como Ometto (2005), Silva (2012) utilizou o software Simapro para a manipulação dos dados e caracterização dos impactos ambientais e demonstração dos resultados.

A coleta de dados efetuada para a aplicação da ACV, conforme Silva (2012) deu-se por meio de dados *in-loco*, denominados de dados primários. Já os dados secundários foram provenientes de uma base de dados também utilizada pelo Simapro, o *ecoinvent*.

O *ecoinvent* possui um vasto inventário com estimativas de cargas ambientais quantificadas. Estas cargas ambientais podem ser descritas como as entradas e saídas de materiais de um sistema, bem como a estimativa do uso de energia no processo abordado. No ano de 2013, o *ecoinvent* chegou à marca de 10 mil inventários dos mais diversos processos da indústria, da agricultura, de biocombustíveis, de transporte etc. O inventário do *ecoinvent*, inicialmente foi criado pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa de Materiais e outras instituições governamentais suíças e atualmente é mantido pelo *Ecoinvent Centre* (ACVBRASIL, 2014).

Seguindo as especificações da ISO NBR 14040, Silva (2012) definiu a unidade funcional a ser observada de 1m^3 de etanol hidratado, para que se pudesse ter um maior controle da área de abrangência do sistema. A metodologia escolhida para mensurar os impactos foi feita por meio do *Centre for Environmental Science of Leiden University* (CML). As categorias de impactos foram: a) acidificação; b) eutrofização; c) aquecimento global; d) toxicidade humana; e) ecotoxicidade em água doce. O Simapro permite também definir qual o tipo de metodologia a ser empregada para a quantificação dos impactos, neste caso o CML 2000.

Outra pesquisa apresentando a ACV como ferramenta para se observar os impactos ambientais é o de Amores et. al. (2013). A pesquisa apresenta dados no setor sucroalcooleiro na cidade de Tucumán na Argentina. A produção de biocombustíveis na Argentina é regida pela lei 26.093. Amores et. al. (2013) esclarece que a cana-de-açúcar na Argentina ocupa uma vasta área agrícola e que sua cultura utiliza baixíssimo uso de pesticidas e herbicidas além da redução das queimadas anterior a colheita da cana-de-açúcar.

Amores et. al. (2013), aplica a metodologia conforme a ISO 14040 e 14044, delineando sua fronteira a partir da área agrícola até a produção final do etanol. Sendo mensurado o impacto ambiental para a produção de 1 kg de etanol. Limitando-se até o processo de produção, descartando processos como armazenagem e transporte do etanol para fora da destilaria. Observa-se então por estes aspectos a definição da fronteira e da unidade funcional a ser analisada.

Os dados para a elaboração da pesquisa foram por meio de um balanço de massa, além dos registros contidos na bibliotecaecoinvent, também conforme Amores et. al. (2013) aplicou-se a metodologia CML 2001. As categorias de impactos apresentados abordaram o Potencial de Aquecimento Global; o Potencial de Acidificação; a Eutrofização; Oxidação Fotoquímica; o Potencial da Depleção da Camada de Ozônio; a Depleção dos Recursos Abióticos; a Ecotoxicidade de Água Doce e Ecotoxicidade Terrestre.

Os resultados apresentados por Amores et. al. (2013) concluem, assim como Ometto (2005) e Silva (2011), que a cana-de-açúcar contribui em todas as categorias elencadas, sendo praticamente a maior vilã no impacto ambiental quase que em todas as categorias. Havendo uma maior contribuição nos impactos de Oxidação Fotoquímica; Potencial da Depleção da Camada de Ozônio; Depleção dos Recursos Abióticos; Ecotoxicidade de Água Doce e

Ecotoxicidade Terrestre, em uma variação de ~95% a ~100% de participação. Amores et. al. (2013), justifica que esta participação da cana-de-açúcar dá-se pelo uso expressivo de combustíveis não renováveis em fases do processo como o plantio, a colheita e o transporte até a destilaria.

Na Tailândia um outro trabalho que também colabora com a pesquisa na utilização da ACV na produção do etanol é a pesquisa de Prasara-A e Gheewala (2015). A pesquisa foi realizada com a finalidade de observar os impactos ambientais em diferentes áreas do cultivo da cana-de-açúcar. As áreas onde foram aplicadas a ACV estão localizadas na região do noroeste da Tailândia: Nakhon Ratchasima; Khon Kaen e Mahasarakham. Para este trabalho foi dividido as regiões em cinco cenários. Os dados coletados foram conforme a colheita iniciada em fevereiro de 2014.

Aplicação da ACV seguiu a norma da ISO 14040, utilizando a produção de 1 tonelada de cana-de-açúcar como unidade funcional, como escopo para a pesquisa, observou o plantio e seu transporte até a usina. Foi utilizado também o Software Simapro para manipulação dos dados utilizando o método Recipe 2008. Os impactos ambientais avaliados nesta pesquisa abordam o Potencial de Aquecimento Global; Toxicidade Humana; Acidificação Terrestre; Eutrofização de Água Doce; Eutrofização de Água Marinha; Ecotoxicidade Terrestre; Ecotoxicidade de Água Doce; Ecotoxicidade de Água Marinha; Ocupação da Área Agrícola; Depleção da Água e Depleção de Combustível Fóssil. Além dos impactos ambientais a pesquisa de Prasara-A e Gheewala (2015) observou também os fatores sócio-econômicos.

A coleta de dados para a elaboração desta pesquisa contou com informações disponibilizadas pela usina e nas regiões responsáveis pelo plantio. Também foram coletados dados conforme o inventário disponível pelo banco de dados Tailandês para Ciclo de Vida.

Dentro dos cenários apresentados por Prasara-A e Gheewala (2015) a cana-de-açúcar se destaca como a principal fonte de impactos negativos nas categorias de Toxicidade de Água Doce, Eutrofização e Ecotoxicidade de Água Marinha. As razões relacionadas a estes impactos conforme Prasara-A e Gheewala (2015), se deve ao uso de fertilizantes, pesticidas e outros agentes químicos no cultivo da cana.

Na agroindústria, com a implicação do uso da ACV com a finalidade de aprimorar o setor agrônomo, referencia-se as pesquisas de Ruviano *et al.* (2012) que apontam de maneira

expressiva a utilização da ACV devido a grande capacidade produtiva do Brasil na indústria agrônômica. No mesmo sentido, apoiado na publicação de Ruviaro et. al. (2012) entre outros, a revista “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental”, publica no ano de 2013 o artigo “Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura”. De acordo com Claudino e Talamini (2013), os autores conduzem o desenvolvimento da pesquisa literária em apresentar a importância da utilização da Avaliação do Ciclo de Vida para o setor.

Apresentando as relevâncias da ACV, sua pertinência na economia ambiental, a próxima sessão busca mostrar a relevância da agroindústria no segmento do setor sucroalcooleiro.

4 MERCADO SUCROENERGÉTICO

A cana-de-açúcar possivelmente tenha sido o produto agrícola mais disputado entre as gerações de diferentes povos. Acredita-se que foi em Nova Guiné, uma ilha ao sudeste do pacífico, que se tenha tido o primeiro contato com a cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar passou pelas mãos de Alexandre, o Grande, (327 a.C), já no século X, os árabes levaram seu cultivo para o Egito, a Sicília e a Espanha. Acredita-se que os egípcios tenham se dedicado ao processo da clarificação do caldo da cana-de-açúcar. (UNICA, 2014; UDOP, 2014).

Desde a antiguidade, a cana-de-açúcar se apresentou enraizada de forma cultural. Já na Índia, encontram-se no livro dos Vedas, de forma poética, as seguintes linhas "Esta planta brotou do mel; com mel a arrancamos; nasceu a doçura.....Eu te enlaço com uma grinalda de cana-de-açúcar, para que me não sejas esquiva, para que te enamores de mim, para que não me sejas infiel". O açúcar era o principal produto extraído da cana e consumido principalmente pela nobreza europeia, mantida por comerciantes do Oriente que detinham o monopólio açucareiro (UDOP, 2014).

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de açúcar e do etanol no Brasil. As primeiras mudas de cana-de-açúcar, chegaram ao Brasil, vindas da Ilha da Madeira em Portugal, em meados do ano de 1515. Foi na capitania de São Vicente, que hoje pertence ao município de Santos, que o primeiro engenho de açúcar foi construído. No entanto, as regiões de Pernambuco e Bahia foram palcos da proliferação dos engenhos. O grande avanço das refinarias na Europa, fez com que Portugal em 1559 proibisse novas instalações por conta do grande consumo de lenha, sangue de boi e clara de ovos utilizada na clarificação do caldo (KOHLHEPP, 2010; UDOP, 2014).

4.1 A Indústria Brasileira e a Cana-de-Açúcar

Em 1857, o imperador do Brasil, D. Pedro II entusiasmado por novas tecnologias, incentivou a modernização da produção de açúcar são os chamados Engenhos Centrais. Estes

engenhos deveriam apenas moer a cana e produzir o açúcar, já o cultivo da cana-de-açúcar ficaria a cargo da parceria com fornecedores. Em 1877, foi autorizada a liberação de 87 Engenhos Centrais, porém, apenas 12 foram instalados. O engenho de Campos do Goitacazes foi o primeiro a iniciar suas atividades neste período, dos que foram instalados e um dos poucos que ainda está em operação até hoje. Outra grande iniciativa de D. Pedro II foi criar, em 1887, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) que no ano de 2014 completou 157 anos de pesquisas no setor agrícola. O IAC inicialmente começou suas pesquisas na cultura do café, porém, também desenvolvem pesquisas no melhoramento genético da cana-de-açúcar (UDOP, 2014).

O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Possui clima favorável e uma vasta extensão geográfica. A proporção de área arável do território brasileiro está estimado em 330 milhões de hectares o que corresponde a 38% do total do território nacional (BRASKEM, 2014; TONON, 2014).

Ocupando o primeiro lugar na produção de cana-de-açúcar, conforme apresentado na Tabela 3, o Brasil se destaca entre os anos de 2008 a 2013 ultrapassando a Índia, China, Tailândia e o México.

Tabela 3: Produção mundial de cana-de-açúcar - Milhões de Toneladas

Países	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Brasil	645	692	717	734	721	739
Índia	348	285	292	342	361	341
China	124	116	112	115	124	126
Tailândia	73	67	69	96	98	100
México	51	49	50	50	51	61
Total	1.241	1.209	1.240	1.337	1.355	1.367

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2014)

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) acompanha a trajetória da produção agrícola em sintonia com o MAPA e faz uma estimativa da produção das cultivares. No caso da cana-de-açúcar, um levantamento realizado no mês de julho de 2014, estimou um montante de 660 milhões de toneladas de cana moída (BRASIL, 2014).

O Brasil possui três grandes culturas, a soja, o milho e a cana-de-açúcar, que ocupa o terceiro lugar entre as outras duas. A produção canavieira, de maior expressividade, está

centralizada nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste (VIAN, 2014), conforme mostrado na Figura 9.

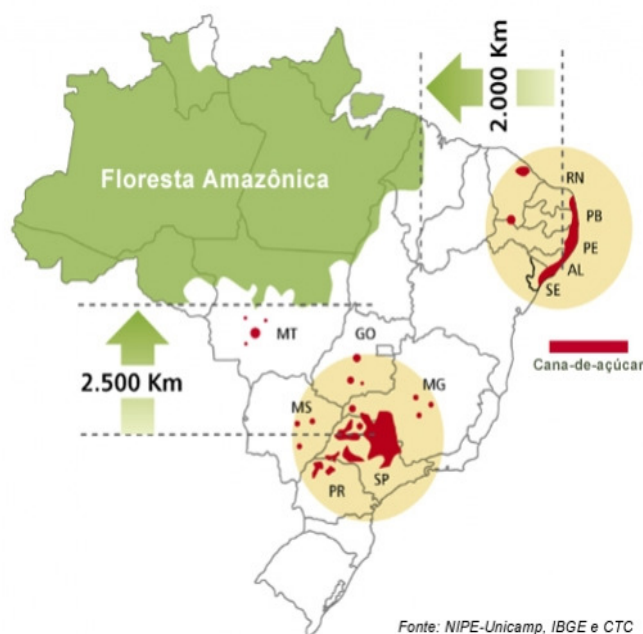


Figura 8: Mapa da produção do Setor Sucroenergético

Considerando ainda que, o Brasil possui condições geográficas e climáticas favoráveis, estas características primordiais permitem que a safra da cana-de-açúcar ocorra durante todo o ano. Na região do Centro-Sul, o período da safra é entre abril até novembro e na região Norte-Nordeste ocorre de setembro até março. Entre os produtores de cana, o de maior expressão é o estado de São Paulo, na região Centro-Sul, que é responsável por 60% de toda a produção nacional. Há uma estimativa que até o ano de 2022 o Brasil venha a produzir mais de 900 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, onde a área produtiva avance para 11,5 milhões de hectares (NOVACANA, 2014).

A Tabela 4 apresenta as informações técnicas da cana-de-açúcar cultivada no Brasil a *Saccharum L.*, registrada pelo MAPA.

Tabela 4: Informações técnicas da cultura da cana-de-açúcar no Brasil

ITEM	DADOS
Ciclo	5 anos
Número médio de cortes	5 cortes
Produtividade da cana-de-açúcar	85 ton/ha
Rendimento de açúcar	138 kg/ton
Poder calorífico etanol anidro	6.750 kcal/kg
Poder calorífico etanol hidratado	6.300 kcal/kg
Cultivares registrada no MAPA	124 <i>Saccharum L.</i>

Fonte: Adaptado de Anuário de Agroenergia, Brasil (2013)

O melhoramento genético tem contribuído para favorecer a produtividade da cana-de-açúcar em situações em que o recurso hídrico é escasso e, também, resistente a pragas, o que possibilita uma maior adaptação para a colheita mecanizada. Em 1961, o rendimento médio por hectare era de 43 toneladas e, em 2005, passou para 74 toneladas por hectare. Este rendimento está associado a novas tecnologias de plantio e ao melhoramento genético que permite um melhor desenvolvimento na maturação da cana-de-açúcar (MARIN, 2014; ROSSETTO, 2015).

Além do melhoramento genético, novas áreas estão sendo preparadas para o plantio da cana. Em dezembro de 2013, com a intenção de favorecer o mercado do etanol, foi aprovado pela Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT), o plantio da cana-de-açúcar na Amazônia Legal e nas regiões do cerrado que compõem Tocantins, Mato Grosso e o Maranhão. O cultivo da cana está destinado para as áreas que foram recuperadas. O processo de aprovação deu-se por meio da PLS 626/201 que tem por intenção fortalecer a produção do etanol (BRASIL, 2013).

O PIB sucroalcooleiro na safra de 2013/2014 obteve um montante expressivo desde a safra de 2008/2009, alcançando um total de R\$ 94, 6 bilhões que supera o PIB de mais de 100 países. O etanol foi responsável por movimentar em exportações um montante de R\$ 3,6 bilhões além de ter gerado cerca de 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos (NOVACANA, 2014).

Embora o cenário apresentado tenha se mostrado de forma favorável, o setor sucroalcooleiro enfrenta grandes desafios desde 2008. O governo federal acabou por reduzir encargos tributários da gasolina minimizando a competitividade do etanol. Este e outros desfalques contra este biocombustível acabaram por provocar sérios danos no setor, impossibilitando novos financiamentos e investimento na renovação de canaviais o que acaba por comprometer o preço do etanol (NOVACANA, 2014).

As iniciativas governamentais, desde a origem do Proalcool, permitiram que a indústria sucroalcooleira nacional se solidificasse colaborando de forma expressiva na economia brasileira. No entanto mesmo sendo etanol uma fonte renovável competitiva, novas medidas governamentais no momento estão por reduzir o avanço do setor sucroalcooleiro na economia nacional.

Na tabela 5 é apresentada a evolução do mix de produção nacional de açúcar e etanol da safra de 2003/2004 até 2013/2014.

Tabela 5: Evolução nacional do mix de produção das usinas de açúcar e etanol

Safras	Cana-de-açúcar (Mil toneladas)	Açúcar (Mil toneladas)	Etanol Anidro (Mil m3)	Etanol	
				Hidratado (Mil m3)	Total Etanol
2003/2004	358.762	24.919	8.876	5.861	14.736
2004/2005	385.199	26.685	8.276	7.113	15.389
2005/2006	385.129	25.823	8.067	7.754	15.821
2006/2007	427.658	29.988	8.030	9.814	17.844
2007/2008	495.723	31.026	8.193	14.333	22.527
2008/2009	569.216	31.049	9.336	18.190	27.526
2009/2010	602.193	32.956	7.065	18.626	25.691
2010/2011	620.409	38.006	8.323	19.053	27.376
2011/2012	559.215	35.925	8.581	14.101	22.682
2012/2013	588.478	38.246	9.844	13.382	23.226
2013/2014	653.519	37.713	12.223	15.320	27.543

Fonte: Adaptado de Unica, Alcopar, Biosul, Siamig, Sindalcoool, Sifaeg, Sindaaf, Sudes e Mapa.

Deve-se observar o ambiente mercadológico que se situa o etanol, pois sua produção também está à mercê do preço de mercado. Logo, sua disponibilidade pode variar em função da competitividade do preço açúcar versus etanol. Mesmo havendo um salto na produção na

safras de 2008/2009, como apresentado na Tabela 6, o açúcar está interferindo de maneira mais acentuada na produção do etanol desde o ano 2006 (MILANEZ, 2012).

Entre os produtos derivados da cana-de-açúcar, se destacam o açúcar e o etanol. A presença do etanol como biocombustível no Brasil remonta o ano de 1920, quando a Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM), hoje conhecido como Instituto Nacional de Tecnologia (INT), iniciou testes em um modelo Ford. As pesquisas se concluíram em 1925, quando o biocombustível foi testado em um percurso de 230 km no Rio de Janeiro em uma prova automobilística. A mistura do combustível estava em uma proporção de 70% de álcool e 30% de água (BRASIL, 2014).

Outro fator que veio a contribuir com a consolidação do etanol, é sua utilização como aditivo a gasolina. Em 1933, por meio da Lei nº 737, o então Presidente da República, Getúlio Vargas, obrigou a adição do etanol à gasolina em uma proporção de 5%. Em 1992, o Brasil se torna pioneiro na substituição do chumbo tetra-etila da composição da gasolina, substituindo pelo etanol anidro. O chumbo tetra-etila foi utilizado como antidetonante, aumentando a octanagem da gasolina. O etanol anidro, que possui ínfima concentração de água, passa a assumir o papel de antidetonante por ter elevada octanagem (ABREU e MACHADO, 2006; LEITE e LEAL, 2007; LEITE e COTEZ, 2007).

Vale ressaltar que anterior ao Proalcool, em 1930, foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), uma iniciativa do governo federal, com a intenção de regular o mercado do açúcar e do álcool. Desde o Proalcool, várias tecnologias no setor sucroalcooleiro vêm sendo empregadas. As inovações tecnológicas proporcionaram um melhor desempenho na produção, na redução de custos e no incentivo ao mercado.

A Tabela 6 apresenta alguns progressos desde 1980 (MACEDO, 2007; JÚNIOR, 2009).

Tabela 6: Transformações tecnológicas na produção do etanol entre o ano de 1980 a 2000

Introdução de variedades de cana-de-açúcar produzidas no Brasil
Aplicação da vinhaça no processo de fertirrigação
Sistema de moagem de 4 rolos
Auto suficiência nas usinas na geração de energia elétrica
Logística no transporte e aprimoramento no corte da cana
Colheita mecanizada
Venda do excedente da energia elétrica gerada para concessionárias
Melhorias no processo produtivo na indústria e no campo agrícola
Incentivo da produção dos motores flex

Fonte: Adaptado de Macedo (2007)

A competitividade do etanol brasileiro é muito sólida no mercado mundial. Isso se dá por meio do incentivo às pesquisas tecnológicas, valor competitivo na mão de obra e o baixo custo da terra para o plantio. Outro aspecto de grande importância é a utilização da cana-de-açúcar ter um teor elevado de sacarose se comparado com outras matérias-primas. A utilização da queima do bagaço de cana como meio de cogeração de energia elétrica permite, ainda, que cada usina produza e consuma de acordo com sua necessidade produtiva (BRASIL, 2007).

A cana-de-açúcar tornou-se objeto de grande expressividade no setor sucroalcooleiro, os subprodutos, outrora tratados como resíduos passam a ser aproveitados em outros processos. O processo de fermentação do vinho produz gás carbônico (CO₂), que pode ser aproveitado no setor industrial na fabricação de refrigerantes. Na destilação, tem-se a vinhaça, que pode ser utilizada na adubação da lavoura e outros derivados. O bagaço se tornou uma fonte energética de grande potencial, a bioeletricidade no ano de 2010 colaborou com 5% no fornecimento da energia elétrica do país, sendo a segunda fonte renovável de energia, perdendo apenas para as hidrelétricas (NOVACANA, 2014).

A biomassa, já presente na matriz energética, conta com as seguintes fontes renováveis: lenha; carvão de origem vegetal; bagaço da cana; álcool e outras fontes

renováveis. O uso da biomassa, como fonte de recurso energético, colabora de forma significativa na redução de emissões de CO₂ (BRASIL, 2006; BRASIL, 2014).

A potência sucroenergética ao longo dos anos, proveniente de injeção tecnológica em concordância com o conhecimento adquirido no setor sucroalcooleiro, vem se mostrando eficiente no que consta a geração de energia. O bagaço da cana-de-açúcar proveniente da moagem da cana passa a ser utilizado na produção da bioeletricidade. Em novembro de 2013, a eletricidade gerada por meio do bagaço gerado por 474 usinas proporcionaram a marca de 11.250 MW, superando a estimativa da usina de Belo Monte. Embora esta margem de geração de bioeletricidade tenha sido favorável, não se pode crer que o mesmo venha a acontecer nos anos seguintes. O que é de se levar em consideração estratégica é que a produção de eletricidade por meio do bagaço e da palha da cana tem se mostrado competitiva (FLEURY; ALMEIDA, 2013; UNICA, 2013).

A Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (Biosul), registrou em outubro de 2014, que o estado foi responsável pela cogeração de energia elétrica, em um percentual de 13,4%. A energia gerada foi comercializada pelo Sistema Nacional de Energia (SEN) e tendo a capacidade de atender a demanda residencial de todo o estado do Mato Grosso do Sul. Este resultado da produção energética pela Biosul constatou uma economia de 7% nas reservas hídricas. A Biosul é composta por 24 usinas associadas (UNICA, 2014; BIOSUL, 2014).

O resultado do Balanço de Energia Nacional (BEN), em seu relatório final de 2014, com dados do ano de 2013, a participação expressiva da cana-de-açúcar e seus derivados na matriz energética. A Figura 8 abaixo apresenta a participação da cana-de-açúcar na oferta interna de energia.

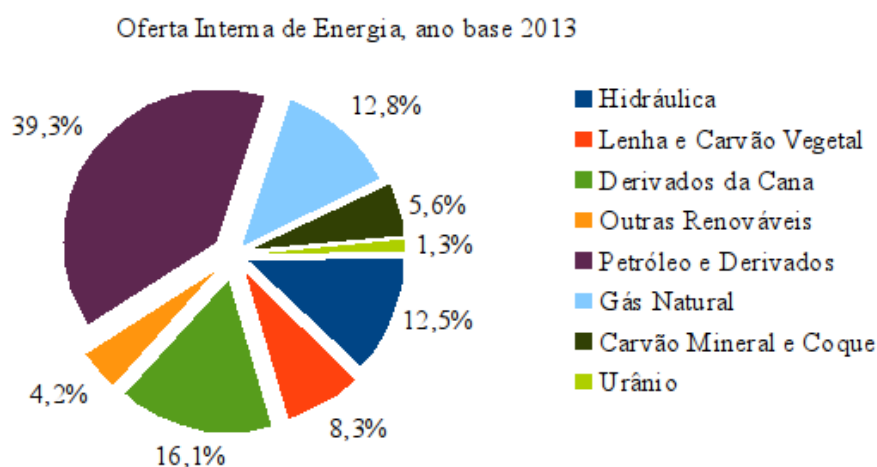


Figura 9: Oferta Interna de Energia, ano base 2013 - Participação por fontes

Fonte: BEN ano base 2013

Conforme apresentado pela Figura 8 a cana-de-açúcar e seus derivados se destaca em segundo lugar na oferta de energia, uma participação expressiva na geração de energia.

4.2 escoamento do etanol para o mercado

De forma simplificada o escoamento do etanol para o mercado dá-se de forma predominante por meio de modais rodoviários, isto porque as unidades de produção não produzem uma quantidade substancial que viabilize outro tipo de transporte. Outro fator preponderante é que as usinas estão próximas a áreas agrícolas que em geral são afastadas das grandes vias de transportes (MILANEZ et al., 2014).

A Figura 10 apresenta de forma simplificada as quatro etapas que divide o abastecimento do etanol no Brasil.

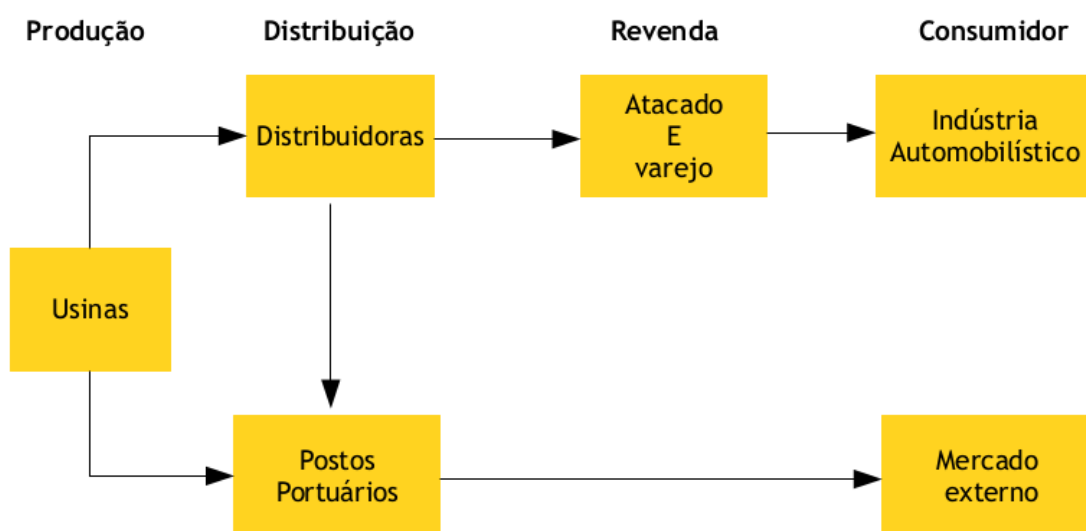


Figura 10: Etapas da cadeia logística do etanol

Fonte: SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustível e Lubrificantes

A predominância do modal rodoviário e o curto perímetro entre a usina e o revendedor permite uma ligação direta entre ambas, o que possibilita uma redução de custos. A partir da etapa da distribuição estima-se que 80% do etanol está destinado para os postos de abastecimento de combustível (MILANEZ et al., 2014).

O modal ferroviário só é favorável quando há uma maior escala no volume e na distância entre os pontos de produção e entrega. No ano de 2008 a Região Sul promoveu uma concentração na distribuição do etanol em 68% no modal ferroviário tendo como principais origens na região de Maringá e Londrina no Paraná e Ourinhos no estado de São Paulo (MILANEZ et al., 2014).

4.3 O Paraná e o Mercado Sucroalcooleiro

Conforme o economista Zampieri (2012) o estado do Paraná iniciou um crescimento na industrialização no setor sucroalcooleiro a partir do ano 2000 e em 2004 chegou a uma

expansão de 50%. Chegando em 2007 com uma oferta média de 40,3 milhões de toneladas de cana por ano. Havendo um crescimento no setor até a safra de 2008/2009 de 13% chegando a uma fase de estabilidade até o ano 2012.

O estado do Paraná conta com o auxílio da Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná (ALCOPAR), que tem por objetivo prestar serviços no seguimento da agroindústria e bioenergia. A ALCOPAR foi fundada em 1981 e oferece serviços para seus associados como assistência jurídica e econômica, aprimoramento técnico. Atualmente no estado são 25 usinas e destilarias em operação, 3 estão paralisadas, 2 usinas estão fechadas, das 30 usinas existentes 26 são associadas a ALCOPAR. (BATISTA, 2015).

A Tabela 7 apresenta a evolução do mix de produção, açúcar e etanol, das safras de 2003 até 2014 do estado do Paraná.

Tabela 7: Evolução do mix de produção das usinas de cana-de-açúcar do estado do Paraná

Safras	Cana-de-açúcar (mil toneladas)	Açúcar (mil toneladas)	Etanol Anidro (mil m3)	Etanol Hidratado	Total Etanol
2003/2004	28.465	1.854	488	732	1.220
2004/2005	28.846	1.810	409	792	1.201
2005/2006	24.809	1.503	347	693	1.040
2006/2007	31.995	2.178	411	910	1.322
2007/2008	40.369	2.511	379	1.480	1.859
2008/2009	44.830	2.460	418	1.630	2.049
2009/2010	45.579	2.431	377	1.507	1.885
2010/2011	43.321	3.022	272	1.348	1.619
2011/2012	40.506	3.008	368	1.034	1.402
2012/2013	39.726	3.086	429	870	1.299
2013/2014	42.216	3.037	492	996	1.488

Fonte: Adaptado de Unica, Alcopar, Biosul, Siamig, Sindalcool, Sifaeg, Sindaaf, Sudes e Mapa.

Como apresentado na Tabela 7 o Paraná também se destacou na produção de etanol na safra de 2008/2009 assumindo a 2º posição na produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul composta por São Paulo, líder no mix de produção, Santa Catarina, Rio Grande do Sul,

Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Espírito Santo. No entanto esta classificação do estado do Paraná entre as safras de 2009/2010 até 2013/2014 foram ultrapassadas pelos estados em Minas Gerais e Goiás. O estado de Goiás fechou a safra de 2013/2014 em mais de 62 mil toneladas de cana-de-açúcar processada, contra 42.216 mil toneladas do estado do Paraná (ÚNICA, 2014).

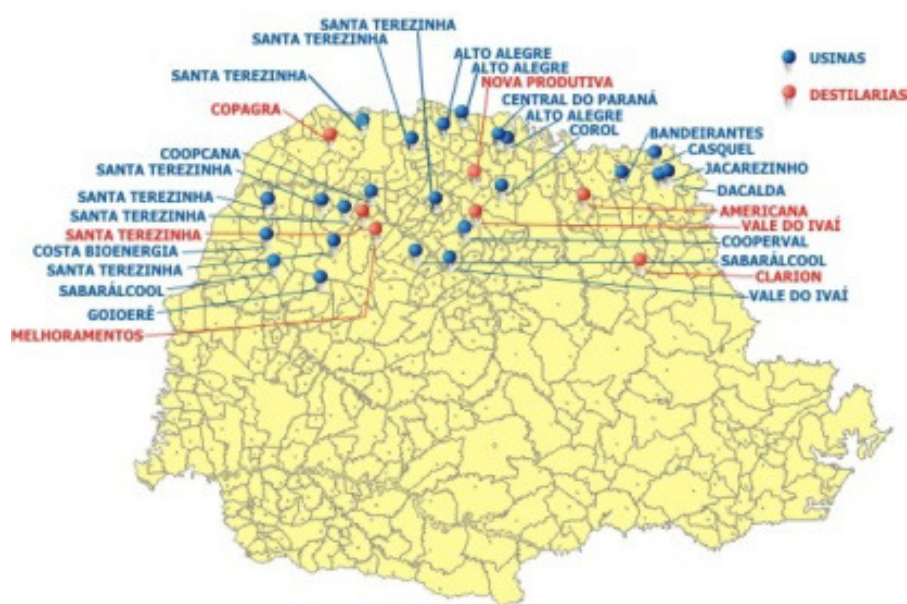


Figura 11: Relação das usinas do estado do Paraná

Fonte: Alcopar

Um dos fatores pelo qual o Paraná aumentou sua produtividade na safra de 2008/2009, se deve ao fato de um incremento de 12% na área plantada, chegando a um total de 555 mil hectares de plantação de cana-de-açúcar. Houve também um investimento para a construção de um transbordo em 2008 localizado na região do município de Maringá. Contudo, embora o etanol produzido no estado do Paraná possua uma vantagem competitiva, o estado depende de subsídios governamentais e políticas que ainda favorecem a produção do açúcar (LEITE et. al., 2010).

4.4 Processo de Produção do Etanol

As usinas brasileiras, em sua maioria, possuem uma configuração na planta industrial, permitindo que a destilaria esteja anexada à usina de açúcar. Este tipo de configuração possibilita aos gestores a tomarem decisões conforme as exigências do mercado sucroalcooleiro, alternado para maior ou menor produção de etanol ou de açúcar, (MACEDO, et al., 2008).

A Figura 12 representa o fluxograma do processo básico de fabricação de açúcar e etanol.

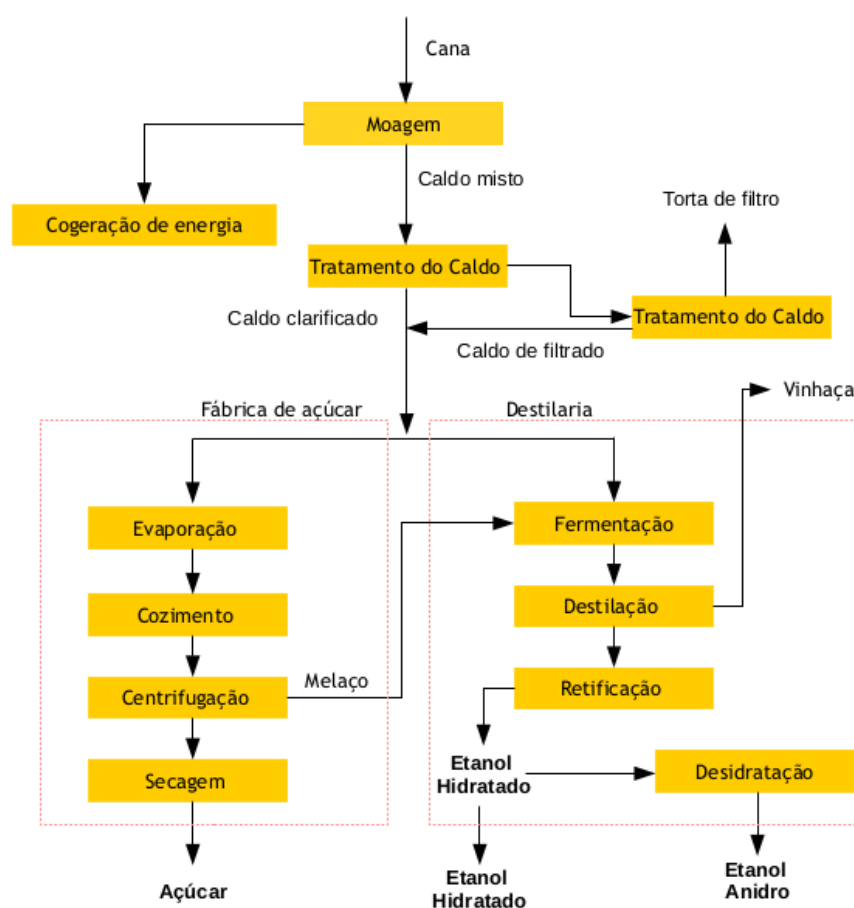


Figura 12: Fluxograma do processo de produção de etanol e açúcar
Fonte: Adaptado de NOVACANA (2015)

No fim do processo após a destilação o resultante é o etanol hidratado, que é a composição de etanol e água. Já o etanol anidro possui uma ínfima quantidade de água. No

Brasil a tecnologia mais utilizada para se obter o etanol anidro é conhecida como ciclohexano, este processo pode permitir uma abstração de etanol anidro de 99,7° GL o que corresponde a 0,4% de água em peso (CGEE & BNDES, 2008).

A tecnologia empregada no processo de produção de etanol e açúcar é basicamente o mesmo em todas as usinas do território nacional. As diferenças estão na qualidade do maquinário empregado, nos controles operacionais e nos aspectos gerenciais de cada usina. A usina pode estar dividida nas seguintes unidades de controle: a) recepção; b) preparo; c) moagem; d) tratamento do caldo; e) fábrica de açúcar; f) destilaria de etanol e estocagem dos produtos (NOVACANA, 2015).

5 A CIDADE DE SÃO CARLOS DO IVAÍ E A COOPCANA

Este trabalho busca apresentar os aspectos socioeconômicos e ambientais da cidade de São Carlos do Ivaí, envolvendo a usina de açúcar e etanol, a Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana (COOPCANA).

5.1 A Cidade de São Carlos do Ivaí

A cidade de São Carlos do Ivaí, situada no noroeste do estado do Paraná, foi elevada a município no ano de 1956, que anteriormente pertencia como distrito à cidade de Paranavaí. A cidade fica à direita do Rio Ivaí e ao seu redor estão outras sete cidades, quais sejam: Norte, com Tamboara; Sul, com Japurá e São Tomé; leste, com São Jorge do Ivaí e Florai; Oeste, com Paraíso do Norte e Indianópolis (IBGE, 2014).

A Figura 13 representa a localização geográfica da cidade de São Carlos do Ivaí e a abrangência dos municípios ao seu redor.

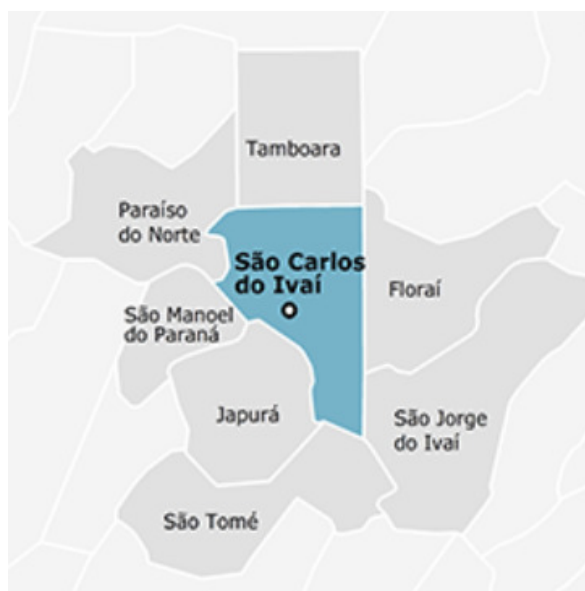


Figura 13- Representação geográfica da cidade de São Carlos do Ivaí
Fonte: IPARDES, (2013)

A área territorial que compõe o município é de 224, 437 km². A população, segundo o censo de 2010, está em 6.354 habitantes (IPARDES, 2013).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal¹ (IDH-M) de São Carlos do Ivaí, conforme dados do PENUD (2010), aponta uma evolução desde o ano de 1991 e próximo à escala do estado do Paraná. A Figura 14 apresenta a evolução do IDH-M comparando com a escala estadual.

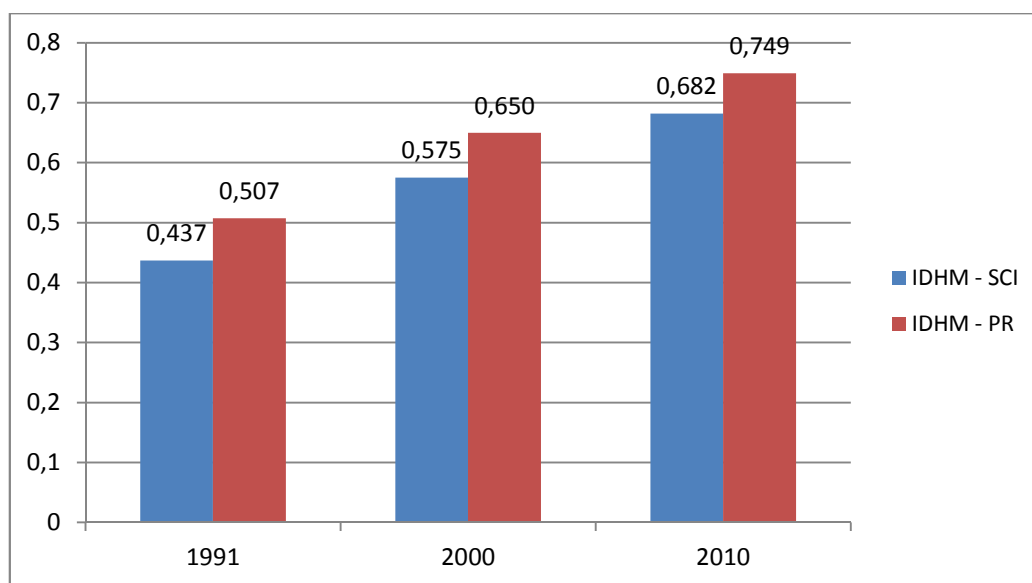


Figura 14 - Evolução IDHM São Carlos do Ivaí e Paraná
Fonte: PENUD (2010)

O IDH-M da cidade, registrado no índice ano de 1991 foi de (0,437) considerado Muito Baixo. Em 2000 o foi registrado o índice de (0,575) considerado Baixo e ao longo de dez anos, em 2010, saltou para Médio, com o índice de (0,682).

5.2 A Coopcana: Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana

A cooperativa teve início no ano de 1979, a sede administrativa está situada na cidade de Paraíso do Norte e a planta da usina no município de São Carlos do Ivaí. Atualmente, a Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana (COOPCANA) conta com 128

¹ O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal analisa três fatores do IDH Global, que são: longevidade, educação e renda. A escala de aferição varia de 0 a 1, sendo: 0 – 0,499 para Muito Baixo; 0,500 – 0,599, para Baixo; 0,600 – 0,699, para Médio; 0, 700 – 0,799, para Alto e 0,800 – 1, para Muito Alto (ATLASBRASIL,2013)

cooperados. No modelo adotado pela cooperativa os próprios cooperados são responsáveis pelo plantio da cana, arcando com os custos. Em 2012, a Coopcana iniciou a cogeração de energia, com o bagaço da cana, produzindo inicialmente 30 MW por dia (VIZOTTO, 2012).

Estima-se que a capacidade de cogeração de energia, em parceria com a Companhia de Força e Luz (CPFL), chegue a produzir o suficiente para que se possa manter uma cidade de 160 mil habitantes (JORNALPARANA, 2013).

Em 2004, a Coopcana por meio do Projeto Reflorestar promoveu o plantio de 200 mil mudas em parceria com o IAP, EMATER e a prefeitura de Paraíso do Norte. Estas mudas foram dispersas nos campos de plantação, com intensão de evitar erosões e uma melhor retenção da água da chuva (JORNALCANA, 2014).

Por ser uma cooperativa a Coopcana promove por meio de uma parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP) o programa Jovem Aprendiz Cooperativista. O programa foi sediado na cidade de Paraíso do Norte e, em 2010, iniciou com uma turma de 42 ingressantes. Por meio da iniciativa do Jovem Aprendiz Cooperativista o ingressante participava de um regime de estágio em que seu período era dividido em dois turnos de quatro horas, em cursos profissionalizantes e práticas de trabalho, em um contrato de dois anos, com seus direitos trabalhistas assegurados (OCEPAR, 2010).

A Coopcana tem em seu mix de produção o etanol anidro, o hidratado e o açúcar VHP². Em média 70% da cana-de-açúcar processada destinada para a produção do etanol e 30% para a produção do açúcar VHP. A Tabela 8 apresenta a evolução do processamento da cana-de-açúcar computados da safra de 2007 até 2014.

² O tipo de açúcar Very High Polarization (VHP) é próprio para a exportação, por sua baixa concentração de umidade, facilitando o transporte.

Tabela 8: Informações da produção da usina da Coopcana

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cana Proc. (t)	2.798.644,06	3.331.967,70	3.126.233,06	3.198.966,17	3.181.201,58	3.059.393,01	3.092.240,46	3.367.867,35
Açúcar VHP	108.915,93	122.328,21	111.387,25	139.008,85	149.796,00	121.317,42	121.981,36	110.003,38
Etanol Anidro	73.193.440,00	101.978.850,00	92.706.960,00	68.093.300,00	75.796.700,00	78.181.660,00	84.823.730,00	95.048.151,00
Etanol Hidratado	81.753.760,00	90.851.180,00	73.843.100,00	102.034.590,00	87.030.692,00	93.640.999,00	85.805.992,00	100.546.567,00
Colheita Manual	2.798.644,06	3.331.963,88	3.126.233,06	2.666.868,17	2.192.702,42	1.777.852,98	1.387.294,50	1.265.180,35
Colheita Meca.	***	***	***	532.126,69	988.499,16	1.281.540,03	1.704.945,96	2.102.687,00

Fonte: Coopcana (2014)

Conforme a Tabela 8 o processo de colheita mecanizada iniciou na cooperativa no ano de 2010 de forma modesta evoluindo nos anos seguintes, atingindo em 2014 o percentual de 62% na mecanização da colheita. Observa-se também que o processamento no ano de 2008 obteve um crescimento de 19% havendo variações nos anos seguintes, registrando o menor nível de processamento em 2012, voltando a subir na safra de 2013 e, em 2014, marcando o maior registro dos ultimo oito anos.

A usina da Coopcana está situada em uma região entre as cidades de São Carlos do Ivaí e Paraíso do norte como é apresentado na Figura 15.



Figura 15 - Localização geográfica do setor administrativo e da usina
Fonte: Adaptado do IBGE.

Os dois municípios se mantêm em parceria na gestão da usina a qual emprega funcionários das duas cidades.

A área de plantio abrange um raio de 60 km passando pelas cidades de Alto Paraná, Amaporã, Florai, Guaporema, Mirador, Nova Aliança do Ivaí, Nova Esperança, Paraíso do Norte, Paranavaí, Presidente Castelo Branco, Rondon, São Carlos Do Ivaí, São Jorge do Ivaí, São Manoel do Paraná e Tamboara.

A Tabela 9 apresenta a relação dos funcionários e sua contribuição na geração de emprego, com base no ano de 2014.

Tabela 9: Participação na geração de empregos da Coopcana

Funcionários	Quantidade
Administrativo	23
Agrícola	522
Planta da Usina	665
Total	1210

Fonte: Dados da Pesquisa

A cooperativa participa na geração de empregos no município de São Carlos do Ivaí e região, favorecendo a economia regional. A Figura 16 apresenta o processo de produção da usina da Coopcana, compreendendo a fábrica de açúcar e a destilaria.

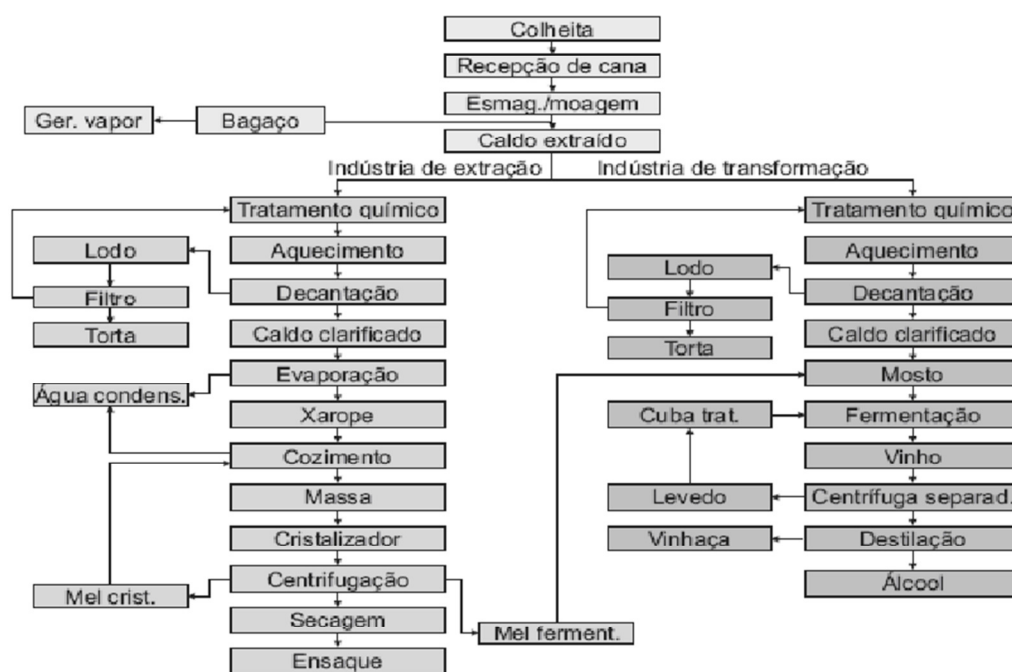


Figura 16: Fluxograma do processo de produção de etanol e açúcar da Coopcana
 Fonte: Coopcana

Ao chegar à recepção a cana passar por uma balança onde é aferido seu peso. O recepcionista registra o caminhão em um sistema no qual é feito um sorteio por caminhão do cooperado. Este sorteio é para que se possa retirar uma amostra, para que seja averiguada a qualidade da cana e a Açúcar Total Recuperável (ATR).

A cana colhida por meio mecanizado passa por um processo de aspiração no momento da colheita, para que sejam retiradas as impurezas, como o excesso de terra e palha. Este processo permite que a cana não necessite de ser lavada antes de ir para a moenda. Caso seja identificado que a colheita foi manual, a cana será direcionada para outra moenda, passando pelo processo de lavagem. A Figura 17 representa o processo de moagem da cana-de-açúcar, o qual é constituído por um conjunto de rolos ou “ternos” que irá extrair o caldo da cana.

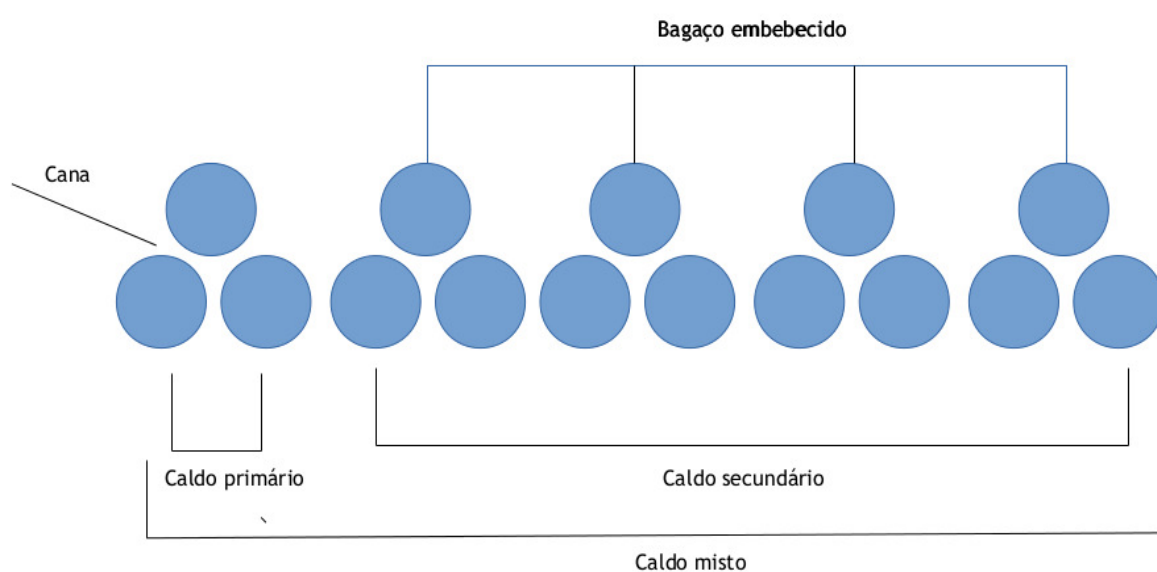


Figura 17: Representação moenda

O primeiro terno é responsável por extrair o caldo mais concentrado, chamado de caldo primário, posteriormente o bagaço é embebecido com água, para que possa extrair o máximo de sacarose possível, sendo chamado de caldo secundário. O caldo misto é a composição do caldo primário e secundário.

O caldo ainda passará por um processo de tratamento químico para a purificação do caldo. Após a decisão da parte gestora o caldo irá destinado para a fabricação do etanol e do açúcar VHP.

Para a produção do etanol, o caldo é aquecido para evaporação da água, o que permite concentrar o caldo em 8° Brix. O caldo aferido passa pelo processo de fermentação nas dornas. Quando o processo de fermentação termina, o caldo está em 0° Brix, o vinho é

centrifugado, separado resíduos do fermento, o vinho passa pelo processo de destilação, para a produção do etanol.

6 METODOLOGIA

Este capítulo tem por finalidade apresentar um estudo de caso, com foco em uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Conforme Gil (2002) um estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”.

Rodrigues (2007) diz que “Pesquisa documental é a que se vale, se não unicamente pelo menos básica ou predominante de documentos como fontes de informação”. Logo a pesquisa proposta, será elaborada a partir de uma consulta nos registros pertinentes ou dados administrativos da usina da Coopcana.

Para a aplicação da ACV serão definidos os objetivos, o escopo, bem como as categorias de impactos, que irão conduzir a pesquisa.

6.1 Caracterização dos Impactos Ambientais e Coleta de Dados

A definição dos dados para o inventário da ACV, no qual se pretende avaliar a produção do etanol da usina da Coopcana, serão divididos em dados primários e secundários. Os dados primários serão obtidos por meio da coleta de dados na usina. O levantamento dos dados secundários serão coletados na biblioteca do *ecoinvent* v2.2 do sistema SimaPro 7. Os dados secundários serão acompanhados pela ISO 14040:2009.

Na avaliação dos impactos ambientais, será utilizado o método CML 2000, abordando as seguintes condições:

1. Mudança climática

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) que foi desenvolvido pela *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é mensurado na absorção do calor de radiação que resulta na descarga imediata de 1kg de um gás com efeito estufa e uma igual emissão de (CO₂) ao longo do tempo (HEIJUNGS et. al. 1992 apud FERREIRA, 2004):

Tem-se:

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

Sendo que:

GWP_i - representa o potencial de aquecimento global da substância i expresso em equivalentes CO_2 ;

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_{CO_2} e c_{CO_2} – são parâmetros correspondentes para a substância de referência (CO_2).

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

O aquecimento global é referenciado pela seguinte expressão:

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

Sendo que:

m_i é a massa em (kg) da substância emitida. O resultado do efeito é expresso em kg de equivalentes CO_2 .

2. Depleção da camada de ozônio

O Ozone Depletion Potential (ODP) que foi desenvolvido pela *World Meteorological Organisation* (WMO) define-se pela relação da decomposição ou destruição da camada de ozônio. Mensura-se pelo equilíbrio das emissões anuais por meio de uma quantidade emitida de substâncias na atmosfera em relação a decomposição do ozônio em seu estado de equilíbrio devida a quantidade igual de CFC 11 (HEIJUNGS et. al. 1992 apud FERREIRA, 2004).

Tem-se:

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}} \quad (\text{equivalentes CFC-11}) \quad (3)$$

Sendo que:

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 por meio do resultado de efeito único:

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

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

3. Acidificação

A acidificação ou potencial de acidificação (*Acidification Potential*) é expresso em quilograma com relação ao equivalente em emissões de SO_2 /quilograma. Os responsáveis que contribuem para acidificação são o SO_2 , o NO_x e o NH_x (SILVA, 2012). O potencial de acidificação se obtém pela seguinte expressão:

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

Sendo que:

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

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

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

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

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

A equação a seguir aplica-se a mensuração do potencial de acidificação:

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

Sendo que:

AP_i - representa o potencial de acidificação da substância i;

m_i - massa da substância i quilogramas (kg).

4. Eutrofização

A eutrofização acontece quando há o enriquecimento de nitrogênio (N) e fósforo (P) na água ou no solo. A eutrofização pode causar mudanças indesejáveis na composição do ecossistema, o que acarreta em um déficit de oxigênio, reduzindo a diversidade ecológica, (HEIJUNGS et al. 1992 apud FERREIRA, 2004).

Heijungs et al., (1992) usaram um modelo para definir o fator do potencial de eutrofização (EP), sendo então, o potencial de biomassa com relação ao equivalente de nitrogênio (N) (v_i) por quantidade emitida de substância (M_i) e o potencial equivalentes N (V_{ref}) por quantidade emitida de uma substância de referência (M_{ref}). Sendo PO_4^{3-} a substância de referência, de acordo com Ferreira (2004). Define-se pela seguinte expressão:

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

O EP é utilizado para agrupar emissões de substâncias com potencial de eutrofização, de acordo com a seguinte equação:

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

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

5. Ecotoxicidade da água doce

O impacto de ecotoxicidade de água doce compreende a reação das substâncias tóxicas nos meios aquáticos, terrestres e sedimentares. O potencial de ecotoxicidade de água doce ou *Freshwater Aquatic Ecotoxicity* (FAETP). Utiliza-se da equação abaixo para se calcular a ecotoxicidade da água (FERREIRA, 2004):

$$FAETP_{i,ecomp} = \frac{PEC_{i,ecomp, \text{águadoce}} \times E_{i, \text{águadoce}}}{PEC_{1,4\text{-diclorobenzeno}, \text{águadoce}} \times E_{1,4\text{-diclorobenzeno}, \text{águadoce}}}$$

Sendo que:

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

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

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

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

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

6. Toxicidade humana

A categoria de toxicidade humana verifica o impacto relativo à saúde humana, abrangendo as substâncias tóxicas presentes no ambiente. Os métodos de caracterização são

desenvolvidos e apresentados pela CML 2000 e referenciados como potencial de toxicidade humana, *Human Toxicity Potentials* (HTPs) (FERREIRA, 2004; SILVA, 2011).

O HTPs é determinado pela equação que define uma substância de referência compreendendo determinadas dimensões a seguir: destino, exposição/teor, efeito e transferência, têm-se então:

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

Sedo que:

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

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

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 teor” – representando a exposição humana *r*, assim, uma função do teor diário 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*.

As categorias descritas a cima, bem como o calculo para cada caracterização de impactos, serão efetuadas pelo software Simapro 7. Como em Ometto (2005) e Silva (2012) norteados por meio da NBR ISSO 14040:2009, segue-se as fases de aplicação da ACV.

6.2 Caracterização da Usina da Coopcana

Conforme já descrito na revisão bibliográfica, seguindo a NBR ISO 14040:2009, é necessário que se estabeleça: i) Objetivo e Escopo; ii) Análise de Inventário; iii) Avaliação de Impactos e iv) Interpretação dos resultados. A seguir será apresentado as fases da ACV com os dados da Coopcana.

6.2.1 Objetivos e Escopo

Tem-se por objetivo avaliar o impacto do ciclo de vida por meio das entradas e saídas inventariadas estabelecidas na limitação do escopo.

A NBR ISO 14040:2009 determina que seja estabelecido juntamente com o objetivo e o escopo, o fluxo que abrange o sistema a ser aplicado ACV.

Além das informações coletadas *in loco*, o Simapro cria um cenário com base no seu inventário já catalogado, gerando assim uma estimativa além do sistema proposto. A Figura 18 é uma representação deste cenário criado pelo Simpro.

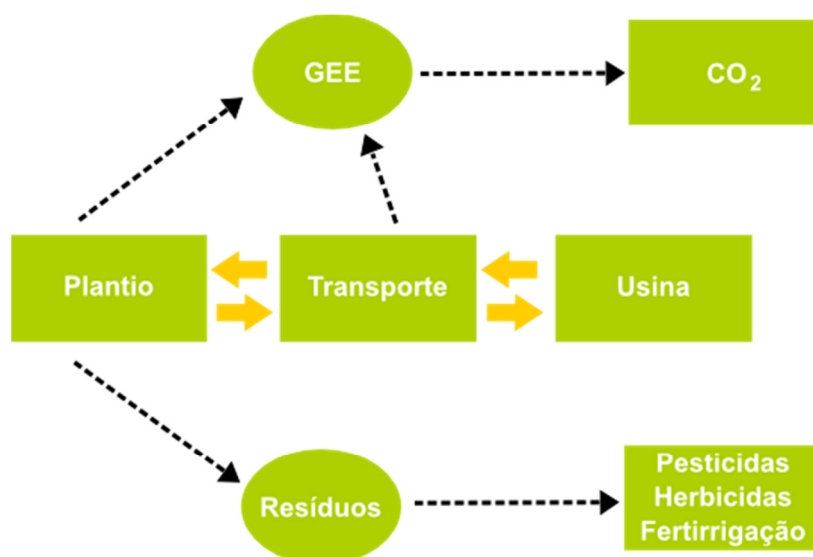


Figura 18: Cenário estimado pelo Simapro além do sistema proposto

Embora o Simapro possa criar um cenário estimado, os dados coletados e lançados no software estão dentro de um sistema proposto para esta investigação. A coleta de dados, portanto, está restrita conforme a representação da Figura 19.



Figura 19: Sistema abordado para a coleta de dados

Observa-se, então, que mesmo não havendo uma coleta para além da usina, envolvendo o plantio, a colheita e o transporte da cana-de-açúcar até a usina, o Simapro cria uma estimativa para este sistema, conforme representado na Figura 18. Logo, as causas de impacto também envolverá a abrangência do cenário proposto pelo Simapro.

Ainda conforme a NBR 14040:2009 deve ser estabelecido uma unidade funcional para limitar a mensuração para uma unidade de referência. Assim como Silva (2012), a unidade funcional definida para esta avaliação de ciclo de vida será de 1m^3 . Sendo assim, será estimado o impacto ambiental para a produção de 1m^3 de etanol. A observação da pesquisa iniciou juntamente com a safra, em 22 de março, finalizando em 22 de dezembro de 2014.

6.2.2 Inventário da Produção do Etanol na Usina da Coopcana

Na safra correspondente a 2014 foi processada uma quantidade estimada em 3.367.867 toneladas de cana-de-açúcar, produzindo 195.594.718 m³ de etanol.

Em média, por hora, a moenda recebe 800 toneladas de cana, produzindo 87,5 litros de etanol por tonelada. O consumo de energia de toda a planta da usina é de 13.200 kWh.

A Tabela 10 apresenta o levantamento dos dados para a produção de 1m³ de etanol, com base nos limites estabelecidos pelo escopo.

Tabela 10: Inventário da produção de 1m³ de etanol

Entradas	Saídas	Quantidade	Unidade
Cana-de-açúcar		11,2	t
Água consumida		30,2	m ³
Energia Elétrica		1.000	kW
Fermento		138	kg
Ureia		10	kg
Ácido Sulfúrico		490	g
	Vinhaça	12.500	L
	Torta de filtro	303,6	kg
	Bagaço	3.192	kg
	CO2	450	kg

Fonte: Dados da pesquisa

As informações apresentadas na Tabela 10 seguiram as especificações da NBR ISO 14040:2009. A norma ainda diz que a coleta de dados deve ser efetuada de acordo com os limites da fronteira do sistema estabelecido. Os dados pode, na prática, ser uma mistura de dados medidos, calculados ou estimados (NBR ISO 14040:2009).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo Ometto (2005) e Silva (2012), os dados primários foram lançados no sistema Simapro 7, para que fosse efetuados os cálculos e exposição dos resultados de cada impacto de forma gráfica.

7.1 Avaliação das Categorias do Impacto

Em um primeiro momento, com os dados da Tabela 10, foi gerado um resultado de impacto apenas com as variáveis de entrada. A Figura 20 apresenta os resultados de impacto com as entradas no sistema estabelecido na da Figura 19.

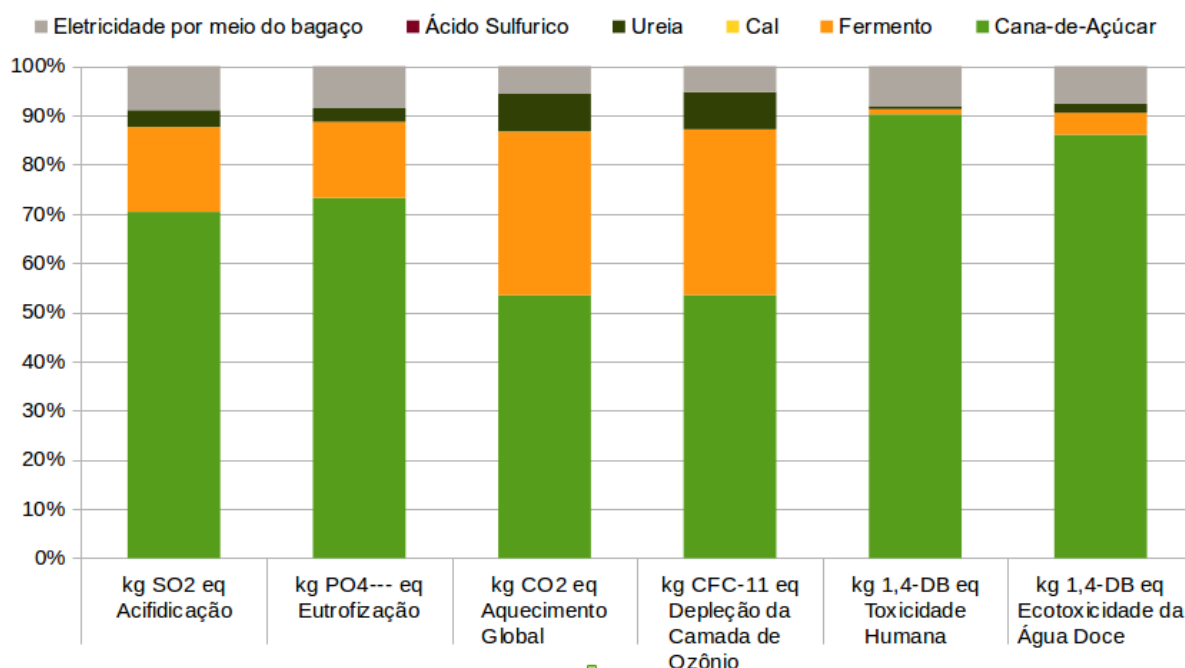


Figure 20: Resultado do ciclo de vida do etanol hidratado dados de entrada

Fonte: Dados da pesquisa

Por meio da Figura 20 é possível perceber que em um primeiro momento a cana-de-açúcar tem a maior participação em todas as categorias de impacto no meio ambiente. Confirmando os dados de Ometto (2005) e Silva (2012).

É necessário expor que o trabalho desempenhado por Ometto (2005) e Silva (2012) abrange um sistema muito maior que o limite de fronteira estabelecido por este trabalho. Portanto os dados apresentados compreendem uma estimativa elaborada pelo próprio software Simapro levando em consideração a abrangência apresentada na Figura 18.

A Figura 20 apresenta o resultado do processamento das informações de entrada e saída dos dados da Tabela 10.

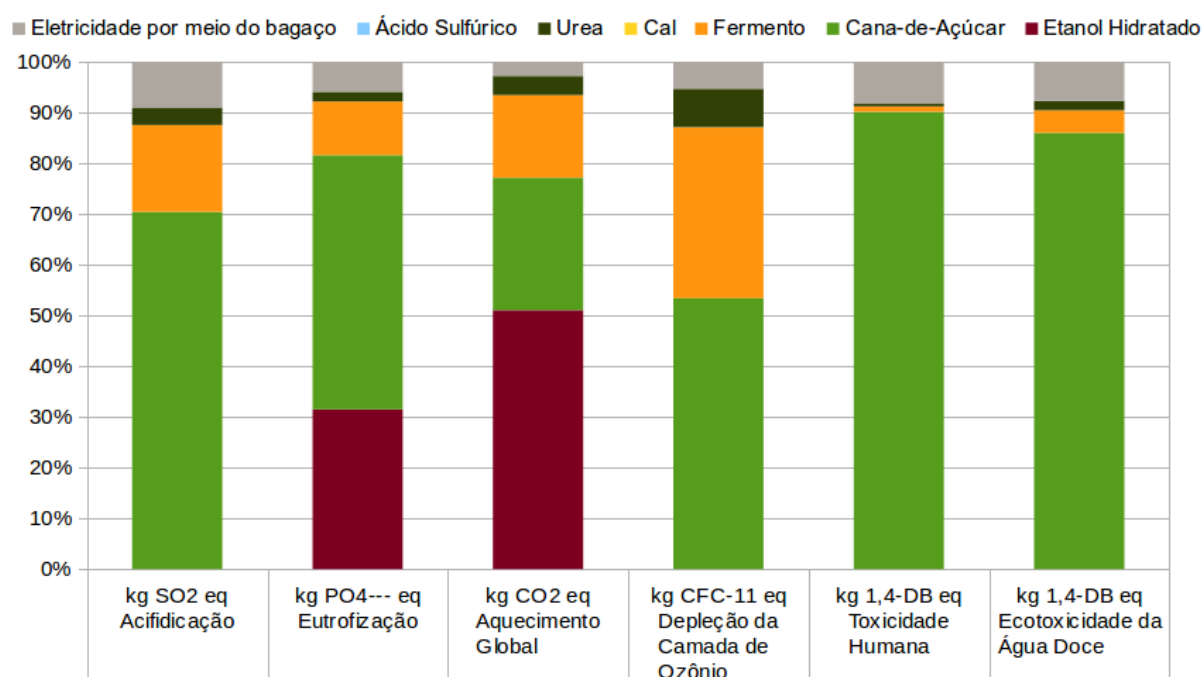


Figura 21: Resultado do ciclo de vida do etanol hidratado dados de entrada e saída
Fonte: Dados da pesquisa

Confirmando os dados de Ometto (2005), Silva (2012) e Días (2011) a cana-de-açúcar implica grande parte do impacto ambiental, embora este seja um recurso renovável os processos que se iniciam no plantio e colheita até a chegada à usina se valem de recursos não renováveis, como por exemplo, o óleo diesel nos tratores, caminhões, colhedoras.

Na contribuição do processo definida pelo Simapro 7 houve uma ocorrência de 2004 itens analisados por estimativa da unidade funcional utilizando os dados secundários da biblioteca *ecoinvent*. Estas ocorrências se observam em um cenário criado pelo Simapro.

A Tabela 11 foi elaborada por meio de uma planilha eletrônica, filtrando as informações para apresentar algumas estimativas de contribuições utilizadas pelo software.

Tabela 11: Dados secundários da biblioteca ecoinvent

Biblioteca Ecoinvent		
Herbicidas	Unidade	Quantidade Estimada
Metolacoloro	mg	6,517
Diuran	g	95
Transportes		
Transporte, média da frota de caminhão > 16t	t/km	2,044
Combustível		
Diesel para transporte	oz	173,20
Diesel queimado na máquina da refinaria	Mj	52,023

Fonte: Simapro, biblioteca ecoinvent

Observa-se por meio da Tabela 11 que mesmo não havendo o levantamento dos dados primários para transporte e consumo de combustível, o Simapro utilizando a biblioteca *ecoinvent* calcula por meio de uma estimativa de uso para cada categoria.

Silva (2012) contribui afirmando que os herbicidas são um tipo de agrotóxico mais comum utilizado no processo da lavoura.

Conforme Silva (2012), será utilizado um corte de relevância para melhor visualizar os dados por importância e participação nos resultados.

Vale ressaltar que, conforme Silva (2012), ainda não existe nenhuma base de dados que componha uma normalização nacional. As estimativas realizadas por meio do *ecoinvent* são bases estrangeiras. Não há uma base de dados puramente nacional, isso quer dizer, que os dados apresentados são estimados a partir de uma base diferente, mas não distante, da realidade de produção do etanol brasileiro.

Trabalhos como de Ometto (2005) e Silva (2012) colaboram que uma grande quantidade de informações geradas e analisadas para que se possa ter parâmetros com para a Análise do Ciclo de Vida do etanol e de outros produtos. Isto permite, que possa, então, construir uma base de dados com a realidade das usinas nacionais e futuramente obter resultados mais precisos com a forma de se produzir etanol no Brasil e mensurar de forma mais fiel os impactos ambientais.

7.2 Análise de Contribuição por Acidificação

Utilizando um corte de relevância de 2,2% o software destaca a contribuição da participação de cada processo envolvido. O corte de relevância permite que sejam definidos os processos de maior participação. Este processo está descrito na Tabela 12.

Tabela 12: Processos de maior relevância na acidificação

Processo Etanol Hidratado	Total (kg SO₂ eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	3,371	100
Processos restantes*	0,641	19,0
Cana-de-açúcar	1,803	53,5
Operações com caminhões 3.5-20t	0,319	9,5
Enxofre na refinaria	0,180	5,2
Ácido sulfúrico	0,167	5,0
Operações com caminhões >16t	0,093	2,8
Eletricidade gerado com o bagaço	0,086	2,5
Ureia	0,083	2,5

Fonte: Resultado Simapro

*Processos restantes são os que foram excluídos da tabulação conforme o limite de corte

Assim como em Ometto (2005) e Silva (2012), a cana-de-açúcar é a que mais contribui para o impacto de acidificação. O uso das queimadas, que facilita o corte da cana, libera um grande volume de óxido de nitrogênio, dióxido de carbono e óxido de enxofre, além do consumo de combustíveis fósseis utilizados para o transporte até a usina e seu manejo quando dentro da usina. Percebe-se, então, que a fase de plantio, trato e colheita da lavoura, acarreta de forma impactante na contribuição da acidificação.

7.3 Análise da Contribuição por Eutrofização

A Tabela 13 apresenta a participação da Eutrofização no processo na produção do etanol. Também foi utilizando um corte de relevância de 2,2% para se observar os processos que incidem na contribuição da caracterização da eutrofização.

Tabela 13: Processos de maior relevância na eutrofização

Processo Etanol Hidratado	Total (kg PO4 eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	1,872	100
Processos restantes*	0,238	12,726
Etanol Hidratado	0,634	33,886
Cana-de-açúcar	0,580	31,015
Ácido fosfórico, fertilizantes	0,284	15,200
Operação com caminhão 3.5-20t	0,082	4,403
Resíduos de fermentação	0,052	2,771

Fonte: Resultado Simapro

*Processos restantes são os que foram excluídos da tabulação conforme o limite de corte

A usina utiliza a vinhaça, que é resultado do processo de destilação do vinho fermentado, no processo de fertirrigação. Os resíduos da fermentação e lavagens das dornas são utilizados também no processo de irrigação do solo como fertilizantes.

Em conformidade ainda com os resultados de Ometto (2005) e Silva (2012), a cana-de-açúcar dentro da caracterização da eutrofização é a que apresenta uma maior participação nesta categoria. O processo de queimada da cana e o uso de fertilizantes contribuem também para a atividade da eutrofização.

Segundo Ometto (2005), as atividades de trato de solo são as que mais contribuem para a formação da eutrofização. A vinhaça, assim como demais resíduos, é utilizada como fertilizante na lavoura. O resultado apresentado pelo gráfico da Figura 16 mostra a participação do destino da vinhaça ao solo, uma saída no ambiente, no processo de produção do etanol hidratado. De fato Cruz et al. (2008) afirmam que o emprego da vinhaça pode causar um impacto poluente em recursos hídricos subterrâneos e superficiais, além de provocar alterações no solo, como a salinização.

7.4 Análise da Contribuição por Aquecimento Global

Utilizando um corte de relevância de 2,2% para a contribuição por Aquecimento Global do processo de produção constitui-se a Tabela 14 com os processos mais relevantes.

Tabela 14: Processos de maior relevância no aquecimento global

Processo Etanol Hidratado	Total (kg CO₂ eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	881,098	100
Processos restantes*	160,602	18,227
Etanol Hidratado	450,000	51,073
Cana-de-Açúcar	122,939	13,953
Operação com caminhão 3.5-20t	59,573	6,761
Gás natural	55,404	6,288
Amônia	32,581	3,698

Fonte: Resultado Simapro

*Processos restantes são os que foram excluídos da tabulação conforme o limite de corte

Na categorização do impacto de aquecimento global, diferente de Ometto (2005) e Silva (2012), o processo de produção do etanol hidratado é o que maior apresenta no impacto para esta categoria. Esta diferença se dá pelo fato de que os dois autores citados compreenderam um limite de sistema de maior abrangência. Portanto os resultados apresentados estão fundamentados nos limites estabelecidos conforme a Figura 19.

A categoria de aquecimento global apresenta o etanol como sendo o de maior impacto, isso porque na coleta de dados primários foi constatado que para cada 1m³ de etanol, no processo de fermentação é liberado 450 kg de CO₂. Conforme Andrade e Diniz (2007) para cada 92g de etanol produzido é gerado 88g de CO₂ que são lançados na atmosfera sem um efetivo aproveitamento.

A presença do processo classificado como amônia líquida, pode estar ligado diretamente aos nutrientes que contribuem com o processo de fermentação, que intensificam a multiplicação das leveduras.

7.5 Análise da Contribuição por Depleção da Camada de Ozônio

A Tabela 15 apresenta os dados referentes ao impacto na depleção da camada de ozônio com um corte de relevância de 2,5%.

Tabela 15: Processos de maior relevância na depleção da camada de ozônio

Processo Etanol Hidratado	Total (kg CFC-11 eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	0,00005897	100
Processos restantes*	0,000007678	13,020
Transporte de gás natural, gasoduto	0,00001075	18,237
Óleo cru, produção onshore	0,00002497	42,339
Triclorometano	0,00005897	26,404

Fonte: Resultado Simapro

*Processos restantes são os que foram excluídos da tabulação conforme o limite de corte

Também Silva (2012) e Días (2011) concluem que a depleção da camada de ozônio, é devido ao consumo e uso de recursos não renováveis como o já mencionado e a liberação de CO₂ pelas máquinas de transporte aqui representando 42% dos processos que envolvem operações com caminhões. A participação do Triclorometano tem no processo do ciclo de vida nas operações de solventes industriais e pesticidas, conforme a biblioteca do *ecoinvent*.

7.6 Análise Da Contribuição Por Toxicidade Humana

Confirmando os resultados de Ometto (2005) e Silva (2012) A cana-de-açúcar apresenta ainda um grande impacto na toxicidade humana. Na Tabela 16 são apresentados estes resultados.

Tabela 16: Análise da contribuição por toxicidade humana

Processo Etanol Hidratado	Total (kg 1,4 DB eq)	Porcentagem
Total de todos os processos	3236,025	100
Processos restantes*	101,584	3,1
Cana-de-açúcar	3052,633	94
Ferro cromo	28,452	0,9
Eletricidade, bagaço de cana	14,625	0,5
Descarte de resíduos de enxofre	13,937	0,4
Amônia líquida	12,542	0,4
Cobre	12,253	0,4

Fonte: Resultado Simapro

*Processos restantes são os que foram excluídos da tabulação conforme o limite de corte

A queima da cana-de-açúcar proporciona um impacto maior na participação da toxicidade humana com 94%. O processo de queima libera vários gases e particulados que prejudicam a saúde humana. Além do uso e manuseio de herbicidas no período de maturação da plantação, apresentado pela estimativa do Simapro conforme a Tabela 11.

7.7 Análise Da Contribuição Por Ecotoxicidade de Água Doce

Conforme o limite de fronteira estabelecido para este trabalho, especificado na metodologia, de acordo com as Figuras 18 e 19, não foram contabilizados todos os processos que envolvem o ciclo de vida de produção do etanol. Alguns dados, como apresentados nas tabelas anteriores referente aos dados da pesquisa, apresentam uma estimativa de acordo com as entradas e saídas que serviram como base de dados para o Simapro 7. A entrada de maior relevância, como insumo para a produção do etanol é a cana-de-açúcar. Conforme a fronteira estabelecida, os níveis de infraestrutura como transporte, trato e cultivo do solo bem como a utilização de defensivos agrícolas foram desconsiderados.

Embora os dados de infraestrutura não tenham sido computados, os resultados apresentados pelo software Simapro 7 apresenta, como na Figura 18 a cana-de-açúcar como principal contribuinte, sua relevância atinge aproximadamente em 85% para a ecotoxicidade de água doce. Ometto (2005) concluindo sobre o mesmo resultado, explica que o trato do solo e o cultivo da cana-de-açúcar são os principais agentes para esta caracterização. Confirmando as conclusões de Ometto (2005), Silva (2012) complementa dizendo que a produção de energia elétrica e do maquinário para o uso do plantio e colheita, contribui de forma significativa o cultivo da cana-de-açúcar. Portanto a **ecotoxicidade de água doce** pode ocorrer devido à utilização de defensivos agrícolas, queimadas para o corte manual que emitem grande quantidade de gases e particulados, ocasionando a lixiviação permitindo a contaminação das águas.

8 CONCLUSÕES

O trabalho apresentando buscou demonstrar por meio da economia ecológica uma Análise do Ciclo de Vida da produção do etanol na utilização da cana-de-açúcar como matéria prima. O estudo foi realizado em uma usina denominada de Coopcana, situada na cidade de São Carlos do Ivaí no estado do Paraná, em que foram observados os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Nos aspectos econômicos e sociais foi possível observar a importância da Coopcana na geração de emprego e na formação profissional de jovens pelo programa do SESCOOP, o que permite absorver uma parcela destes jovens como mão-de-obra efetiva para a própria usina após o prazo de estágio. A usina também se favorece na cogeração de energia onde aproximadamente 43% da energia gerada é consumida na própria planta e o excedente exportada para a rede da Copel.

Em consequência, as exigências ambientais estabelecidas pela Lei 11.241 de 2002, que prevê a redução gradativa da queima da palha como preparativo para a colheita manual, a Coopcana em 2014 atingiu o percentual de 62% na colheita mecanizada, porém, a exigência legal é que até 2031, mesmo a área não mecanizável deve estar isenta de queimada.

Conforme os aspectos ambientais na Análise do Ciclo de Vida, do processo de produção do etanol na Coopcana, as categorias de impactos relacionadas por maior relevância na contribuição de impacto ambiental destaca-se a cana-de-açúcar nas categorias de acidificação, que pode ser causada pela liberação de gases, como nitrogênio, visto que aproximadamente 40% da colheita ainda é de forma manual o que configura a queimada da cana-de-açúcar no preparo da colheita, em menor proporção de relevância.

A categoria de eutrofização é responsável por afetar os sistemas aquáticos. Nesta categoria, a cana ainda está como principal responsável pelo impacto categorizado, porém em menor proporção, cerca de 50%. A relevância da cana-de-açúcar dá-se, também, pela utilização de fertilizantes e maquinários que utilizam combustíveis de origem fóssil. Nesta categoria apresentados pelos resultados da base do *ecoinvent* demonstrados na Tabela 13. Percebe-se também a participação do etanol responsável pela eutrofização em 30%,

possivelmente, esta participação se leva em consideração, pois os resíduos da fermentação serão misturados à vinhaça, que depois será utilizada na fertirrigação.

No aspecto do aquecimento global a cana-de-açúcar no processo de produção do etanol perde sua relevância, conforme o limite de estudo do sistema. Observa-se que para a produção do etanol há uma saída no sistema de 450 kg de CO₂, o que é pertinente com relação a liberação de gases de efeito estufa. A produção do etanol possui uma participação de 50% enquanto a cana-de-açúcar com 25%. Por não haver a entrada de toda a infraestrutura que compreende os elementos externos e internos do Ciclo de Vida do etanol, o software Simapro 7 estima a saída de dióxido de carbono como sendo de maior relevância para esta categoria.

Na categoria depleção da camada de ozônio a cana-de-açúcar volta a ter uma participação maior com uma participação de 53%, deve-se ao fato de que a base de dados do *ecoinvent* mensurar o uso de recursos não renováveis para transporte e manejo da cana-de-açúcar. Contudo, o processo fermentativo aponta uma participação relevante de aproximadamente 38% possivelmente por configurar a liberação de CO₂, como mencionado.

De todas as categorias apresentadas a cana-de-açúcar apresenta uma maior relevância na toxicidade humana 90%, provavelmente, isto se dá pelo fato da necessidade de queima para o corte manual, o uso de fertilizantes e de herbicidas.

Com similaridade à eutrofização, a categoria de ecotoxicidade de água doce também apresenta uma relevância destacada, porém, em uma participação de 85%. Leva-se em consideração que todo os resíduos como restos de fermentação, água de limpeza das dornas, que serão misturadas à vinhaça para serem utilizadas no processo de fertirrigação.

Observa-se, então, que as categorias de acidificação, eutrofização, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce, estão ligadas aos tratamentos necessários para o cultivo da cana-de-açúcar.

Percebe-se que os conforme o limite de fronteira estabelecido o processo de produção do etanol dentro da usina se apresenta como impactante na eutrofização e com maior participação no aquecimento global.

A participação da queima do bagaço oscila em todas as categorias entre 5 a 10%, tendo maiores picos de participação na acidificação, eutrofização, depleção da camada de ozônio e ecotoxicidade de água doce. A uréia também apresenta uma oscilação em todas as categorias,

apresentando uma participação maior, cerca de 10% na categoria de depleção da camada de ozônio. Possivelmente esta participação deve-se a sua utilização para intensificar o processo fermentativo.

Analisando o contexto apresentado, verifica-se que o etanol é um biocombustível que permite um amplo mercado interno e externo. Sua estrutura mercadológica favorece a geração de emprego e o crescimento regional. Porém observando sua fase de produção por meio de uma Análise do Ciclo de Vida verifica-se que em todas suas fases utilizam-se recursos não renováveis, além de que seus resíduos como o dióxido de carbono no processo de fermentação e a vinhaça agredem o ambiente. Portanto embora haja um incentivo governamental para o seu uso, o etanol necessita de uma otimização em todos os seus processos que envolvam sua produção direta ou indiretamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. BRASKEM. A CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Cana-de-Acucar>> Acessado em jun./2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: **Gestão Ambiental: Avaliação Do Ciclo De Vida – Princípios E Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABRAMOVAY, R. **Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?**. *Novos estud. - CEBRAP*[online]. 2010, n.87, pp. 97-113. ISSN 0101-3300.
- ABREU, F. R.; MACHADO, C. M. M. **Produção De Álcool Combustível A Partir De Carboidratos**. Ano XV – Nº 3 – Jul./Ago./Set. 2006.
- ACVBRASIL. **Ecoinvent Centre**. Disponível em <<http://zip.net/bhsd1D>> acessado em jun/2014.
- AIRES, M.. **Jornal Paraná: Informações Para o Setor de Bioenergia**. Jan/2013. Ano XVI. Edição 199. Disponível em <<http://zip.net/bjqGst>> Acessado em dez./2014.
- AIST - **National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Research Center for Life Cycle Assessment Research theme**. Disponível em <<http://www.aistriss.jp/old/lca/cie/theme/index.html>> Acessado em ago./2014.
- ALCOPAR. **Histórico da produção no Paraná**. 2011. Disponível <http://www.alcopar.org.br/histprod_pr/index.htm>. Acesso em: Dez./2014.
- AMORES, M. J. et. al. **Life Cycle Assessment of Fuel Ethanol From Sugarcane in Argentina**. Springer. p. 1344-1357. 2013.
- ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. São Paulo: Piracicaba, 2007. 131 p.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Degradação Ambiental e Teoria Econômica: Algumas Reflexões sobre uma “Economia dos Ecossistemas”**. *Revista Economia*. Jan/Abr. 2011, v.12, n.1, p.3–26. ISSN 1517-7580.
- ARBEX, M. A. et al. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. *J. bras. pneumol.* [online]. 2012, vol.38, n.5, pp. 643-655. ISSN 1806-3713.

ATLASBRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. O IDHM. Disponível em <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/o_atlas/idhm/> Acessado em jan./2015.

BARROS, E. V. **A Matriz Energética Mundial e a Competitividade das Nações**: bases de uma nova geopolítica. ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, junho 2007.

BATISTA, A. Dissertação de mestrado - Dados Alcopar. Mensagem recebida por <economia@alcopar.org.br> em 14 de setembro de 2015.

BIOSUL. Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul. **Bioenergia**. Disponível em <<http://www.biosulms.com.br/bioenergia>> Acesso em nov./2014.

BRASIL. **Matriz Energética Nacional 2030**. EPE. Rio de Janeiro. Novembro de 2007.

BRASIL. **Cadeia Produtiva da Agroenergia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento In: BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Portal Brasil. **Novas Regras Estimulam Produtores de Biodiesel na Obtenção do Selo Social**. 2012. Disponível em <<http://zip.net/bnqqr1>> Acessado em nov./2014.

BRASIL. **Terças Tecnológicas apresenta um panorama das pesquisas em biocombustíveis nos últimos 90 anos**. INT. Disponível em: <<http://zip.net/bmp6HF>> Acesso em nov./2014.

BRASIL. Transporte Rodoviário do Brasil. Disponível em <<http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/rodo.html>> Acessado em: nov./2014;

BRASIL. **Balanco Energético Nacional: Relatório de Síntese – Ano Base 2013**. EPE. Rio de Janeiro. Maio de 2014.

BRASIL. **Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-Açúcar**. V. 1 - SAFRA 2014/15. N. 2 - Segundo Levantamento Ago./2014. ISSN 2318-7921.

BRASIL. Decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975. **Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras Providências**. Disponível em <<http://zip.net/bgp4Kl>> Acessado em out/2014.

BRASIL. **CCT Aprova O Plantio De Cana Em Áreas Degradadas da Amazônia Legal**. Senado Federal. 2013. Disponível em <<http://zip.net/bkp8x1>> Acessado em nov./2014.

- BRASIL. **Projeções do Agronegócio 2010/2011 – 2020/2021**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Sala%20de%20Imprensa/Publica%C3%A7%C3%B5es/slides_materiasF01.pdf> Acessado em nov./2014.
- BRASIL. Senado Federal. **Proveniente da Medida Provisória n.º 647/2014**. Disponível em <<http://zip.net/bwqp00>> Acessado em nov./2014b.
- BRANCO, L. G. B. **Biocombustíveis Brasileiros e o Mercado Internacional: Desafios e Oportunidades**. Revista CEJ, Brasília, Ano XIII, n. 46, p. 39-48, jul./set. 2009.
- BNDES & CGEE. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar. Energia para o Desenvolvimento Sustentável**. 1ª ed. Rio de Janeiro. 2008.
- CARVALHO, J. F. **Combustíveis Fósseis e Insustentabilidade**. *Cienc. Cult.* [online]. 2008, vol.60, n.3, pp. 30-33. ISSN 2317-6660
- CAVALCANTI, C. **Uma Tentativa de Caracterização da Economia Ecológica. Ambiente & Sociedade**. Vol. VII n.º. 1 jan./jun. 2004.
- CAVALCANTI, C. **Concepções Da Economia Ecológica: Suas Relações Com A Economia Dominante E A Economia Ambiental**. *Estud. av.* [online]. 2010, vol.24, n.68, pp. 53-67. ISSN 0103-4014.
- CHECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. **A Economia Ecológica de Evolucionária de Georgescu-Roegen**. *Revista de Economia Política*. 201, vol. 30, no 3 (119), pp. 438-454. ISSN 1809-4538. 2010.
- COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida – ACV**. In: COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: Cetea/Ital, 2007.
- COSTA, A. O. S.; JUNIOR, Esly Ferreira da Costa; SILVA, Sara Cristina. **Conceitos Fundamentais Da Propriedade Termodinâmica Exergia E Exemplos De Aplicação Para Análise De Processos Reais**. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15. 2012.
- DIONYSIO, R. B.; MEIRELLES, F. V. P. **Combustíveis: A química que move o mundo**. Disponível em <<http://zip.net/bxqc9n>> Acessado em out./2014.
- DÍAS, M. A. D. **Análise Do Ciclo De Vida Do Etanol Brasileiro Visando À Certificação Ambiental**. Abril de 2011. 115 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Centro Técnico Científico da PUC-Rio.
- ESCOBAR, J. C.; E. S. LORA, O. J. VENTURINI, E; YANEZ e E.F. CASTILLO. 2009. **Biofuels: Environment, Technology and Food Security**. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 13, 1275-1287.

FARIA, I. D., et. al.. **A Utilização e Óleo Vegetal Refinado Como Combustível** – Aspectos Legais, Técnicos, Econômicos, Ambientais e Tributários. Senado Federal. Disponível em <<http://zip.net/bkqdc>> Acessado em nov./2014.

FARIA, A., FRATA, A. **Biocombustíveis**: A cana-de-açúcar na região hidrográfica do rio Paraná. A produção de grãos, a pecuária e a cana na sub-bacia do rio Ivinhema. Ecoa, 2008.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> Acesso em nov./2014

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Potencial de Energias Renováveis: Contexto, Energia Eólica e Solar**. Vol I. Minas Gerais. 2014. Disponível em <<http://zip.net/bxpZdL>> Acesso em: 10/2014.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004

FIGUEREDO, C. B. de; FILHO, J. R. de F.. **Os Impactos Sociais dos Biocombustíveis**. In: V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, Rj. 2009. p. 1-15. ISSN 1984-9354.

FLEURY, L. C. and ALMEIDA, J. **The construction of the Belo Monte hydroelectric power plant: environmental conflict and the development dilemma**. *Ambient. soc.* [online]. 2013, vol.16, n.4, pp. 141-156. ISSN 1809-4422.

FRANCO, A. L. C. et al.. **BIODIESEL DE MICROALGAS: Avanços E Desafios**. Quim. Nova, Vol. 36, No. 3, 437-448, 2013.

FRISCHKNECHT, R.; KNÖPFEL, S. B. **Swiss Eco-Factors 2013 According to the Ecological Scarcity Method**. Federal Office for the Environment FOEN öbu – works for sustainability Bern, 2013.

GABI-SOFTWARE. LCA Databases. Disponível em: <<http://zip.net/brsbtp>> Acessado em out./2015.

GENTNER, Drew R. **Elucidating secondary organic aerosol from diesel and gasoline vehicles through detailed characterization of organic carbon emissions**. PNAS. v. 109. n. 45. Disponível em <www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1212272109> Acessado em nov./2014.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process* Cambridge, MA: Harvard University Press.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1976) *Energy and Economic Myths* New York: Pergamon Press.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Atlas, 2002

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. ESTUDOS AVANÇADOS 21 (59), 2007.

GOMES, L. B.; BOLZE, S. D. A.; BUENO, R. K. e CREPALDI, M. A.. As origens do pensamento sistêmico: das partes para o todo. *Pensando fam.* [online]. 2014, vol.18, n.2, pp. 3-16. ISSN 1679-494X.

GONÇALVES, J. M. F.; MARTINS, G. **Consumo de Energia e Emissões de Gases do Efeito Estufa no Transporte de Cargas no Brasil**. Disponível em: <<http://zip.net/bkqdlj>> Acessado em: nov./2014.

HERMANN, I.T; MOLTESEN, A. **Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? A comparative assessment of SimaPro and GaBi**. *Journal of Cleaner Production*. p. 163-169, 2014.

IBGE. Cidades: **Município de São Carlos do Ivaí – Pr**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>> Acessado em nov./2014.

IPARDES. **Caderno Estatístico do Município de São Carlos do Ivaí**. 2013. Disponível em <<http://zip.net/bnqzBZ>> Acessado em dez./2014.

INMETRO. Portaria n.º 407, de 26 de agosto de 2014. Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida.

JUNIOR, C. A. G. et al. **Um estudo das deliberações da Câmara Setorial do Açúcar e do Alcool, usando Análise de correspondência**. *Rev. Econ. Sociol. Rural* [online]. 2009, vol.47, n.1, pp. 183-210. ISSN 0103-2003.

JORNALCANA. Coopcana planta 200 mil mudas de árvores por safra. Disponível em <<http://zip.net/bmqGcz>> Acessado em dez./2014.

KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. *Estud. av.*[online]. 2010, vol.24, n.68, pp. 223-253. ISSN 0103-4014.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. E. **O Etanol Combustível no Brasil**. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores – MRE (Org.). Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007. p.60-75.

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V.. **O Biocombustível no Brasil**. *Novos estud. - CEBRAP* [online]. 2007, n.78, pp. 15-21. ISSN 0101-3300.

LEITE, C. A. M.; et all.. **Análise Comparativa da Cadeia Sucroalcooleira nos Estados do Paraná e São Paulo. 48º Sober**. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Campo Grande-MG. Julho de 2010.

LÜDEMANN, L.; FEIG, K. **Vergleich von Softwarelösungen für die Ökobilanzierung – eine softwareergonomische Analyse**. *Logistics Journal*. ISSN 1860-5923. p. 1-17. 2014.

MACEDO, I. C. **Situação Atual e Perspectivas do Etanol**. *Revista Estudos Avançados, Campinas*, ano 11, v. 21, n. 59, jan-abr 2007.

MACEDO, I. C., SEABRA, J. E., & SILVA, J. E. (2008). **Green House Gases Emissions in the Production and use of Ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020**. *Biomass and Bioenergy*, 582-595.

MARIN, F. R. **Eficiência De Produção Da Cana-De-Açúcar Brasileira: Estado Atual E Cenários Futuros Baseados Em Simulações Multimodelos**. 2014. 262 f. Tese (Engenharia de Biosistemas, área de Agrometeorologia). Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo. 2014.

MAY, P. (Org). **Economia do meio ambiente. Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MENEGUELLO, L. A; CASTRO, M. C. A. O Protocolo De Kyoto E A Geração De Energia Elétrica Pela Biomassa Da Cana-De-Açúcar Como Mecanismo De Desenvolvimento Limpo. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*. V. 8, N. 1, p. 33-43, Mar. 2007.

MILANEZ, A. Y.; et. all. Biocombustíveis: **O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política**. BNDES setorial. 2012. Disponível em <<http://zip.net/btqzsl>> Acessado em Dez./2014.

MILANEZ, A. Y.; et. all. Sucroenergético: **Logística para o etanol: situação atual e desafi os futuros**. BNDES setorial 31. Disponível em <<http://zip.net/bwsgth>> Acessado em Dez./2014.

- MUELLER, C. C.. **O debate dos economistas sobre a sustentabilidade: uma avaliação sob a ótica da Análise do processo produtivo de Georgescu-Roegen.** *Estud. Econ.* [online]. 2005, vol.35, n.4, pp. 687-713. ISSN 0101-4161.
- NOVACANA. **Curiosidades Sobre o Etanol.** Disponível em <<http://www.novacana.com/etanol/curiosidades/>> Acessado em nov./2014.
- NOVACANA. **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo).** Disponível em <<http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>> Acessado em nov./2014.
- NOVACANA. **Setor Sucroenergético brasileiro supera o PIB de mais de 100 países.** 29 de maio de 2014. Disponível em <<http://zip.net/bsqyf1>> Acessado em nov./2014.
- NOVACANA. **Como é feito o processamento de cana-de-açúcar nas usinas.** Disponível em <<http://zip.net/bprGNJ>> Acessado em fev./2015.
- NUNES, G. de A.; MANHÃES, A. A. **Energia eólica no Brasil: Uma Alternativa Inteligente Frente Às Demandas Elétricas Atuais.** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 1, p. 163-167, 201.
- NYKO, D., XAVIER, C. E., MILANEZ, A. Y., & GARCIA, J. L. (2010). **Logística para o etanol: situação atual.** In BNDES, BNDES Setorial 31- Sucroenergético (pp. 49-98). Rio de Janeiro.
- NYKO et al. **A Corrida Tecnológica Pelos Biocombustíveis de Segunda Geração: Uma Perspectiva Comparada.** Biocombustíveis. 2010, pp. 5-48. Disponível em: <<http://zip.net/bxpY8w>> Acessado em 10/2014.
- OCEPAR. COOPCANA: **Projeto Aprendiz Cooperativista é iniciado em Paraíso do Norte.** Disponível em <<http://zip.net/brqGYy>> Acessado em jan./2015.
- OMETTO, A. R. **Avaliação do Ciclo de Vida do Álcool Etílico Hidratado Combustível pelos Métodos EDIP, Exergia e Emergia.** Tese de Doutorado Escola de Engenharia - USP, São Carlos, 2005.
- PEREIRA, M. B.; GUTIERREZ, S. **O Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável Brasileiro.** Texto para Discussão n. 1443. IPEA. Brasília, dezembro de 2009.
- PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. **Sustainability of sugarcane cultivation: case study of selected sites in north-eastern Thailand.** Journal of Cleaner Production. Elsevier. p. 1-10. 2015.

- POMBO, F. R.; MAGRINI, A. **Panorama de aplicação da norma ISO 14001 no Brasil.** Gest. Prod. [online]. 2008, vol.15, n.1, pp. 1-10. ISSN 1806-9649.
- POMPELLI, M. F. et al. **Crise Energética Mundial e o Papel do Brasil na Problemática de Biocombustíveis.** *Agron. colomb.* [online]. 2011, vol.29, n.2, pp. 423-433. ISSN 0120-9965.
- PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. Costa.; COSTA, R. C. da. **Formação do Mercado do Biodiesel no Brasil.** Biocombustíveis. 2007. Rio de Janeiro, n. 25, p. 39-64. Disponível em <<http://zip.net/bbpYdP>> Acessado em 10/2004.
- PRÉ. **User Manual. Introduction into LCA SimaPro 8.** November 2013.
- RIBEIRO, R. **Veículos Automotores Emitem Menos Poluentes.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://zip.net/bnp1rS>> Acessado em: Nov./2014.
- ROMEIRO, A. R. **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica.** *Estud. av.*[online]. 2012, vol.26, n.74, pp. 65-92. ISSN 0103-4014.
- ROSSETTI, J. P. **Introdução à Economia.** 20ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- ROSSETTO, R. **Melhoramento Genético.** Disponível em <<http://zip.net/bjsgNG>>. Acessado em maio/2014.
- RODRIGUES, R. M. **Pesquisa Acadêmica: Como Facilitar O Processo De Preparação De Suas Etapas.** São Paulo: Ed. Atlas, 2007
- RUVIARO, C. F. et al. **Life Cycle Assessment In Brazilian Agriculture Facing Worldwide Trends.** *Journal Of Cleaner Production*, v.28, p.9-24, 2012.
- SANTOS, M. T. L. F. dos. **A Economia Perversa: O Impacto Dos Mercados Sobre O Meio Ambiente.** Revista Direito e Liberdade – Mossoró – v. 6, n. 2, p. 293 - 314 - jan/jun 2007. ISSN 2177-1758.
- SILVA, S. S. Da. **Avaliação do Ciclo de Vida do Etanol Combustível: Uma Análise econômica, social e ambiental.** 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Regional) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina 2012.
- SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. **Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000.** Anais do IX ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO. Brasília: UnB, outubro de 2011.
- SILVEIRA, Roberta. **Instituto Agrônomo de Campinas Comemora 127 anos de Pesquisas.** Disponível em <<http://zip.net/bmp4Mz>> Acessado em out./2014.

SINDICOM - Sindicato das Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes. **Logística do Setor**. Disponível em: <<http://zip.net/bqrGWV>>. Acesso em: fev/2015.

SOAM, S. et. al. **Life Cycle Assessment of Fuel Ethanol from Sugarcane Molasses in Northern and Western India and its Impact on Indian biofuel programme**. Energy. Elsevier. p. 307-315. 2015.

TONON BIOENERGIA. **História da Produção de Álcool e Etanol no Brasil**. Disponível em <<http://zip.net/by7nZ>> Acesso em nov./2014.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **Processo de fabricação de álcool etílico hidratado carburante**. Disponível em <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=898#nc>>. Acesso em jan./2014.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais**. Disponível em <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>>. Acesso em out./2014.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Bagaço da Cana-de-Açúcar Gera Economia de 7% em Usinas Hidrelétrica**. 2013. Disponível em <<http://zip.net/btp6BK>> Acesso em out./2014.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Bioeletricidade Atinge o Equivalente a Uma Belo Monte em Potência Instalada**. 2014. Disponível em <<http://zip.net/bvp6B9>> Acesso em out./2014.

VALE, C. C. **Teoria Geral do Sistema: Histórico e Correlações Com a Geografia e com o Estudo da Paisagem**. Entre-Lugar, Dourados, MS, ano 3, n.6, p 85-108, 2. semestre de 2012.

VIAN. C. E. F. **Árvore Do Conhecimento: Cana-de-Açúcar** (EMBRAPA). Disponível em <<http://zip.net/btp8g7>> Acessado em nov./2014.

VIZOTTO. F. E. Coopcana. **Cooperativa se prepara para a melhor safra de sua história**. Disponível em <<http://zip.net/bfqF5D>> Acessado em jan./2015.

ZAMPIERI. D. Departamento de Economia Rural do Paraná. **Área de Bioenergia e Sucroalcooleira A cana-de-açúcar e sucroalcooleiro**. Disponível em <<http://zip.net/bnqyv6>> Acessado em nov./2014.