

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**DENIVALDO TEIXEIRA SANTOS**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS AÇÚCAR &  
ÁLCOOL EM USINAS SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO  
DE MATO GROSSO DO SUL**

CAMPO GRANDE – MS  
FEV /2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**DENIVALDO TEIXEIRA SANTOS**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS AÇÚCAR &  
ÁLCOOL EM USINAS SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO  
DE MATO GROSSO DO SUL**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre do Programa de Pós – Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Julio Cesar Gonçalves.**

Aprovada em: 18 Fev 2009

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Julio Cesar Gonçalves**  
**Orientador – UFMS**

**Prof. Dr. Milton Augusto Pasquotto Mariani**  
**UFMS**

**Prof. Dr. Antônio C. Paranhos Filho**  
**UFMS**

CAMPO GRANDE – MS  
FEV /2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Coordenadoria de Biblioteca Central – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)

S237a Santos, Denivaldo Teixeira.  
Análise do ciclo de vida dos produtos açúcar & álcool em usinas sucro-  
alcooleira no estado de Mato Grosso do Sul / Denivaldo Teixeira Santos. --  
Campo Grande, MS, 2009.  
115 f. ; 30 cm.

Orientador: Julio Cesar Gonçalves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

## DEDICATÓRIA

Ao meu pai Fidelis Rangel dos Santos que apesar de ausente sempre me incentivou estudar e a minha querida mãe Arlinda da Silva Teixeira, como reconhecimento e gratidão por tudo que conquistei e sou nesta vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado sempre, permitindo que augurasse todos os meus sonhos e ideais, por ter retirado do meu caminho, nas horas de angústia e dificuldades os óbices, que me impediriam de prosseguir, estando sempre presente em minha vida.

A minha família principalmente aquele que não se encontra mais nesta dimensão mas que certamente esteve e estará sempre presente nas minhas conquistas e no meu ideal. A minha querida mamãe, D. Arlinda da Silva Teixeira, que sempre está firme a ajudar a dar uma palavra de animo de conforto. Que sabe exatamente a hora de carregar no colo. Aos meus irmãos filhos sobrinhos e as netas Luara e Bárbara que passam a ser uma nova esperança do viver.

Ao professor Dr. Julio César Gonçalves, que desde o início acreditou no meu trabalho e esforço aceitando ser meu orientador neste estudo e pela excelente oportunidade no estágio de docência que em muito auxiliou e complementou a orientação. Propiciando um enriquecimento acadêmico e experiência impar.

Aos meus colegas e amigos que sempre estiveram prontos a me incentivar e ajudar, são os amigos que conheci e convivi no Exército Brasileiro “Caserna”, na Instituição de ensino superior vida acadêmica e tantos outros que conheci no meu caminhar por este Brasil maravilhoso.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Transportes da UFMS pela colaboração e carinho.

“nada neste mundo é tão poderoso quanto uma  
idéia cujo tempo tenha comprovado sua  
validade”

Victor Hugo

# SUMÁRIO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
EPÍGRAFE.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELA.....	viii
LISTA DE QUADROS .....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	7
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	8
3.1 Conceito de Análise do Ciclo de Vida dos Produtos – ACV .....	8
3.2 Conceito histórico.....	10
3.3 Padronização e normatização .....	14
3.4 Etapas da Análise do Ciclo de Vida.....	15
3.5 O uso da ACV no mundo .....	25
3.6 Usinas Sucroalcooleiras.....	28
3.6.1 Aspectos gerais .....	30
3.6.2 Impactos Ambientais de usinas sucroalcooleiras e sustentabilidade.....	38
3.6.3 Usinas sucroalcooleiras no Brasil – Agroindústria Canavieira .....	49
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	60
4.1 Caracterização da pesquisa.....	60
4.2 Informações metodológicas e limitações.....	61
4.3 Recursos computacionais – “ <i>software</i> ” .....	63
4.4 Procedimentos metodológicos .....	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

8. APÊNDICE .....	98
8.1 Apêndice A – dados da Usina I .....	99
8.2 Apêndice B – Dados da Usina II .....	107
8.3 Apêndice C - Carta de apresentação da pesquisa a Usina “Passa Tempo” .....	113



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Representação básica de ACV .....	8
FIGURA 3.2 – Etapas do ciclo de vida do produto .....	9
FIGURA 3.3 – Etapas da Análise do Ciclo de Vida de Produtos .....	15
FIGURA 3.4 – Representação esquemática dos processos (indústria sucroalcooleira).....	20
FIGURA 3.5 – Três etapas da fase de interpretação .....	24
FIGURA 3.6 – Família de novos produtos .....	31
FIGURA 3.7 – Conceito Básico do Processo de Avaliação de Impacto Ambiental.....	35
FIGURA 3.8 – Componente do Sistema Agroindustrial de Cana-de-açúcar.....	35
FIGURA 3.9 – Elementos sobre trocas de gases em canaviais.....	36
FIGURA 3.10 – Evolução da área plantada, produção e rendimento da cana-de-açúcar .....	42
FIGURA 3.11 – Evolução da produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar .....	43
FIGURA 3.12 – Localização das usinas sucroalcooleiras no Brasil.....	45
FIGURA 3.13 – Distribuição das Indústrias Sucroalcooleiras no MS.....	47
FIGURA 3.14 – Processo produtivo nas Usinas de Açúcar sem Destilarias anexas.....	50
FIGURA 3.15 – Processo produtivo nas Usinas de Açúcar com Destilarias anexas.....	50
FIGURA 3.16 – Processo produtivo nas Destilarias Autônomas .....	50
FIGURA 3.17 – Diagrama da etapa agrícola da produção da cana-de-açúcar.....	51
FIGURA 3.18 – Recepção da cana e extração do caldo .....	54
FIGURA 3.19 – Tratamento do caldo e produção de açúcar .....	55
FIGURA 3.20 – Tratamento do caldo e produção do álcool .....	56
FIGURA 5.1 – Fluxograma detalhado das etapas de produção de álcool e açúcar .....	70
FIGURA 5.2 – Indicadores de descarte (emissão).....	75
FIGURA 5.3 – Consumo de fertilizantes por UF (álcool e açúcar) .....	77
FIGURA 5.4 – Indicador de consumo d'água.....	78
FIGURA 5.5 – Indicador de consumo de combustível diesel.....	79
FIGURA 5.6 – Indicadores de consumo de mudas no plantio.....	80
FIGURA 5.7 – Contribuição relativa ao Potencial Impacto Uso de Combustível Fóssil .....	82
FIGURA 5.8 – Contribuição relativa ao Potencial de Toxicidade Humana.....	83
FIGURA 5.9 – Contribuição relativa ao Potencial de Esgotamento de Recursos Naturais.....	83
FIGURA 5.10 – Contribuição relativa ao Potencial de Aquecimento Global .....	87
FIGURA 5.11 – Contribuição relativa ao Potencial de Acidificação .....	88

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Composição média da cana-de-açúcar .....	29
TABELA 3.2 – Emissões (CO <sub>2</sub> ) da agroindústria canavieira no Brasil .....	33
TABELA 3.3 – Emissão dos veículos-leves novos no Brasil .....	34
TABELA 5.1 – Balanço das emissões de CO <sub>2</sub> para usina I.....	86
TABELA 5.2 – Balanço das emissões de CO <sub>2</sub> para usina II .....	86

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – Categorias de Impactos utilizadas em Estudos de ACV .....	23
QUADRO 2.2 – Programas de álcool no mundo .....	48
QUADRO 4.1 – Variáveis analisadas e suas unidades funcionais .....	66
QUADRO 4.2 – Média da produção açúcar e álcool na Região Centro Sul e no Brasil.....	67
QUADRO 4.3 – Saídas do processo elementar usina I.....	67
QUADRO 4.4 – Saídas do processo elementar usina II.....	68
QUADRO 4.5 – Inventário “Entradas – Canavial” .....	68
QUADRO 4.6 – Inventário “Entradas – Usina” .....	69
QUADRO 4.7 – Inventário “entrada” – Diesel – etapas agrícolas e transporte da UF.....	69
QUADRO 4.8 – Inventário “Saídas – Usina” .....	69
QUADRO 4.9 – Saída de emissões relacionadas ao consumo de combustível .....	69
QUADRO 5.1 – Composições usuais para transporte de cana-de-açúcar.....	71
QUADRO 5.2 – Poluentes gerados pela queima de óleo diesel.....	72
QUADRO 5.3 – Emissões por unidade funcional 1 litro de álcool e 1 kg de açúcar.....	74
QUADRO 5.4 – Consumo de recursos naturais nas usinas sucroalcooleira .....	76
QUADRO 5.5 – Quadro de categoria de impactos .....	89

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ACV** - Análise do Ciclo de Vida dos Produtos

**CETESB** - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiente

**CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**COPERSUCA** - Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo.

**EPA** - Environmental Protection Agency, dos Estados Unidos

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

**MCT** - Ministério da Ciência e Tecnologia

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**NBR** - Norma Brasileira Registrada

**RDC** - Resolução da Diretoria Colegiada

**REPA** - Resource and Environmental Profile Analysis

**SETAC** - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

**SGA** - Sistema de Gestão Ambiental

**SISNAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente

**USEPA** - U.S. Environmental Protection Agency

## RESUMO

Santos, D. T. (2009). *Análise do ciclo de vida da produção de açúcar e álcool em Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Após a crise energética para combustíveis fósseis que culminou em vários estudos para sua solução, o mundo foi atribuindo cada vez mais a importância às questões ambientais, Isto fez com que despertasse a necessidade de desenvolvimento de abordagens e ferramentas de Gestão Ambiental. Este estudo consiste na definição, conceituação, evolução histórica e normalização da Análise do Ciclo de vida do produto (ACV). Objetiva ainda relacionar a contribuição específica de cada etapa do processo produtivo, definida no escopo do trabalho com as seguintes categorias de impactos ambientais: Aquecimento Global, Toxidade Humana, Acidificação e Esgotamento dos Recursos Naturais (combustíveis fósseis – óleo Diesel e consumo d'água). Para a realização deste trabalho foi utilizada a ferramenta ACV da metodologia de ACV, em consonância com as normas ABNT ISO 14041 – 2004. O resultado encontrado permitiu uma reflexão que nos leva a suscitar que outros estudos devam ser realizados para identificar oportunidades de melhor utilizar a metodologia ACV. Fins obter-se um melhor rendimento ambiental do processo ou sistema produtivo utilizado para se produzir as UF dos produtos álcool e açúcar.

**Palavras-chaves:** Análise do Ciclo de Vida dos Produtos, álcool, açúcar.

## ABSTRACT

*Santos, D. T. (2009). Analysis of the life cycle of the production of alcohol and sugar in Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brazil.*

After the energy crisis in fossil fuels that culminated in several studies for its solution, the world has been giving more importance to environmental issues, this has meant that awakens the need to develop approaches and tools for environmental management. This study is the definition, concepts, historical development and standardization of analysis of the product life cycle (LCA). Also aims to relate the specific contribution of each stage of the production process, scope of work defined in the following categories of environmental impacts: Global Warming, Human Toxicity, acidification and exhaustion of natural resources (fossil fuels - oil and water consumption) . For this work we used the tool of LCA methodology, LCA, in line with standards ABNT ISO 14041 - 2004. The result has found a reflection that leads us to raise that further studies should be conducted to identify opportunities to use better the LCA methodology. Purposes to obtain a better environmental performance of the manufacturing process or system used to produce products of the State alcohol and sugar.

Key words: Analysis of the life cycle of products, alcohol, sugar.

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o crescimento dos processos produtivos visando atender a demanda da sociedade em satisfazer cada vez mais seus desejos fez com que as empresas buscassem novas tecnologias e sofisticassem ainda mais os processos produtivos. A este desenvolvimento tecnológico e sofisticação do processo produtivo é atribuído parcialmente muito dos problemas ambientais. Cabe lembrar que na década de 70, com a crise do petróleo intensificou-se a busca de formas alternativas de energia e vários estudos foram realizados para melhoria dos processos visando otimizar a utilização dos recursos naturais (Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, 2007).

Os estudos realizados eram mais focados em assuntos como eficiência energética, mas, abordaram ainda questões como: consumo de matéria- prima, disposição de resíduos, emissões sólidas, líquidas e gasosas.

A crise dos anos 70 gerou uma busca frenética por formas alternativas de energia, mas despertou também ao mundo a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. A importância das questões ambientais e os estudos realizados até o momento suscitaram a necessidade de desenvolvimento de abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem às empresas avaliar as conseqüências ambientais das decisões que tomavam em relação aos seus processos produtivos ou produtos e serviços.

Conforme o ministério da ciência e tecnologia, MCT (2007) um dos primeiros problemas surgidos foi como comparar produtos ou processos distintos, do ponto de vista das suas conseqüências ambientais, sendo que comparar as conseqüências ambientais apenas do processo de produção não era suficiente, era necessário levar em consideração a conseqüências ambientais de todas as outras fases da vida de um produto.

São vários os fatores que se relacionam nesta grande dicotomia em satisfazer as necessidades humanas e preservar o meio ambiente. Com um crescimento populacional paralelamente há o crescimento da demanda por insumo diverso e concomitante há aumento dos impactos ambientais. O impasse está justamente neste ponto, ou seja, como satisfazer as necessidades do homem e oportunizar a natureza à capacidade de resiliência do meio submetido à ação antrópica cada vez mais intensa? Outros aspectos estariam ligados à produtividade e rentabilidade, a capacidade de emprego e renda para todos, entre

outros. Que estão todos baseados no conceito de “Desenvolvimento Sustentável” que resumidamente seria o trinômio: ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável.

Assim, a abordagem do presente trabalho está focada as questões ambientais, uso da terra, utilização de recursos naturais e emissões diversas. A Gestão Ambiental é definida segundo Juchem (1995 apud Pereira, 2004), como sendo o conjunto de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que levem em conta a saúde e a segurança das pessoas e a proteção do meio ambiente. Este processo pode ocorrer por meio da eliminação ou mitigação de impactos e danos ambientais decorrentes do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de empreendimentos ou atividades, incluindo-se todas as fases do ciclo de vida do produto.

Com a finalidade de avaliar a sustentabilidade da produção dos produtos álcool e açúcar nas etapas de produção agrícola, produção industrial e transporte. Utilizou-se a ferramenta ACV da metodologia de ACV, em consonância com as normas ISO 14041 (ABNT, 2004) para conceituar Análise do Ciclo de Vida dos Produtos, caracterizar as fases ACV e mostrar importância da metodologia como indicador de sustentabilidade de um produto.

A Metodologia Análise do Ciclo de Vida dos Produtos, conforme Keoleian (1994 apud BARRETO 2007), o livro "*Introduction to Design*", publicado por Asimow em 1962, tem que nesta obra foi apresentada pela primeira vez a estrutura básica para o ciclo de vida de um produto. Asimow ainda, afirmou explicitamente a importância da inclusão das questões sócio-ecológicas no projeto, e sua inter-relação com o ciclo produção-consumo.

Os seres humanos ao longo de sua existência desenvolveram sua civilização, multiplicando-se, ocupando praticamente todos os ecossistemas do planeta, consumindo recursos naturais e gerando rejeitos de suas atividades. Na maior partes de sua história, obtiveram sua subsistência através de uma combinação de fatores simples, como a caça, pesca e acúmulo de alimentos, “recursos naturais” sendo estes componentes de pequenos grupos nômades. Esta característica de vida permitiu que o homem se espalhasse pelo Globo terrestre, e consistiu na forma de organização humana que até hoje causou os menores danos ao meio natural, sendo admitida por toda uma linha da antropologia como o único instante no qual a humanidade se encontrou em sua dimensão ótima quanto a estas interações do ponto de vista quanti-quali cultural (PONTING, 1995 apud RIBEIRO, 2003).



Esta dimensão ótima tem se alterado bastante nos últimos dois milênios, sendo o crescimento populacional inevitável. Aumentando a busca por recursos naturais renováveis e não renováveis. Tornando cada vez mais intensa e significativa estas mudanças distanciando cada vez mais a sociedade deste ponto ótimo de interface com o meio ambiente natural criando um “desequilíbrio natural”.

Um dos mais conhecidos estudos clássicos da Demografia, o *Essay on Population* publicado – anonimamente – em 1798 por Thomas Malthus, já apontava este desequilíbrio natural e tem como foco central exatamente a conexão entre crescimento populacional descontrolado e suas drásticas conseqüências sócio-econômicas, apresentando, pela primeira vez, a idéia de que o crescimento da população se dá em progressão geométrica à medida que o aumento da produção de alimentos se dá em progressão aritmética, o que provoca, em longo prazo, catástrofes sociais e colapso econômico.

Felizmente para a humanidade o estudo de Thomas Malthus, não contou com o avanço da tecnologia na produção de alimentos, que proporciona a produção de alimentos para a humanidade.

O crescimento da população mundial a fim de exemplificar, tem-se em Veiga (2006, p.100) que em 1700 eram quase 600 milhões de pessoas, em 1800 já eram quase 1 bilhão de pessoas. E em 2007, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2008) atingimos os 6,6 bilhões de pessoa no planeta.

Representando, portanto, o consumo de diversos recursos naturais e emissões de vários rejeitos, que podem tanto o crescimento populacional quanto o consumo de recursos naturais serem representados quantitativamente por curvas exponenciais crescentes no tempo. Conforme as conclusões do estudo conhecido como: “Relatório do Clube de Roma<sup>1</sup>,” não sendo revertidas estas tendências provavelmente em breve ocorrerá um declínio súbito e incontrolável da qualidade de vida da sociedade, causando um grande colapso em nossa civilização, portanto o quanto antes for implantado medidas corretivas para mitigar os efeitos desta rota catastrófica, maiores serão as possibilidades de reverter esta perspectiva. (RIBEIRO, 2003).

---

<sup>1</sup> O Clube de Roma não é algo do passado, os jornais do dia 19 de março de 2006 trazem a notícia da visita a São Paulo do Presidente do Clube, Príncipe El Hassan Bin Talal, que discursará sobre os “Principais Problemas de uma Agenda Global.” (Estado de S. Paulo e Folha de S. Paulo, 19 de março de 2006).

Em 1972, foi publicado pelo *Massachusetts Institute of Technology* – MIT, o relatório “Limites do Crescimento”, produzido pelo chamado “Clube de Roma”. O relatório apontou explicitamente os limites do crescimento econômico por causa da sua dependência em virtude da não-renovabilidade da maioria dos recursos naturais e propondo – polemicamente – o “não crescimento econômico” ou o “crescimento econômico zero”. Produzido em um período marcado pela moda da utilização de modelos computadorizados de fenômenos complexos, o relatório foi severamente criticado por uma série de razões, principalmente pelos países em desenvolvimento.

Corroborando com esta perspectiva, Guattari (2000) afirma que “os modos de vida humanos individuais e coletivos evoluem no sentido de uma progressiva deterioração”. O equilíbrio natural irá depender, portanto, cada vez mais das ações e intervenções humana.

[...] para onde quer que nos voltemos, reencontramos esse mesmo paradoxo lancinante: de um lado, o desenvolvimento contínuo de novos meios técnico-científicos potencialmente capazes de resolver as problemáticas ecológicas dominantes e determinar o re-equilíbrio das atividades socialmente úteis para o planeta e, de outro lado, a incapacidade das forças sociais organizadas e das formações subjetivas constituídas de se apropriar desses meios para torná-los operativos. (GUATTARI p.12).

Ainda, Guattari (2000, p.8) afirma que apesar de estarem começando a tomar consciência dos perigos mais evidentes que ameaçam o meio ambiente natural de nossas sociedades, elas geralmente contentam em abordar o campo dos danos industriais e, ainda assim, unicamente numa perspectiva tecnocrática, ao passo que só a articulação (ético-política) que o autor chama de “ecosofia” entre os três registros ecológicos (o do meio ambiente, o das relações sociais e o da subjetividade humana) é que poderia esclarecer convenientemente tais questões.

Como se pode perceber o homem visando atender e satisfazer suas necessidades desenvolveu ao longo de sua existência uma série de instalações e estruturas produtivas (cidades, fábricas, cultivos, entre outros...) ao qual conjunto denomina-se meio antrópico<sup>2</sup>. Para o seu funcionamento ele interage com o meio natural de três formas: consumindo recursos naturais, emitindo rejeitos e transformando o espaço. (SILVA, 2001 apud RIBEIRO 2003).

Atualmente, com os apelos de marketing e uma enorme gama de produtos com novos *designes* e alta tecnologia, tem-se a obsolescência programada e percebida que

---

<sup>2</sup> Relativo à humanidade, à sociedade humana, à ação do homem. Termo utilizado para qualificar um dos setores do meio ambiente: o meio antrópico, que compreende os fatores sociais, econômicos e culturais.

conduz a um aumento do consumo. onde consumir cada vez em maiores proporções é sinônimo de felicidade. Impelidos pela necessidade de vender seus produtos, os fabricantes gastam grandes quantias de dinheiro com marketing, para despertar desejos e incutir esse conceito na população. Elevando o consumo e colocando o planeta em risco (MOURAD et al., 2002).

Esta prática da sociedade entre produção e consumo em desequilíbrio conduz a reflexão sobre a importância da reformulação dos padrões de intervenção humana no meio natural, tornando eminente a preocupação em deste não apenas extrair os recursos para garantir o sistema capitalista e este consumo ilimitado, mas também estabelecendo formas de garantir a sua sustentabilidade.

Assim podemos dizer que para satisfazer suas necessidades o homem demanda de bens e serviços, que para serem ofertados provocam impactos ambientais. Surgindo desta percepção a noção nova embora evidente, de que a origem dos impactos ambientais encontra-se no consumo de bens e serviços (produtos). Posição defendida por Wenzel et al., (1997) conforme cita Ribeiro (2003), em que os impactos ambientais são atribuídos ao crescente grau de oferta e consumo de produtos, conceito que apresenta uma nova vertente para avaliação ambiental, desenvolvida recentemente: *enfoque no produto*.

A análise ambiental com enfoque sobre o produto surge com as preocupações cada vez maiores com as ameaças globais em relação ao meio ambiente e a chamada “sustentabilidade” o objeto de análise deixa de ser o processo para ser o produto, ou melhor, a função à qual este produto se destina. Esta mudança de paradigma pressupõe que os produtos se destinam a satisfazer determinada necessidade, por meio do cumprimento de uma função. Para que esta seja realizada é necessário que exista o ciclo de vida do produto, ou seja, toda uma cadeia de processos e atividades que se estendem desde as etapas de extração dos recursos naturais até a manufatura, transporte, uso, destinação final após uso. Esta abordagem é conhecida como “do berço ao túmulo”, Chehebe (1998) vê duas tendências gerais nos tipos de ferramentas que os governos e as empresas estão desenvolvendo e utilizando. A primeira é um movimento no sentido do estabelecimento de Sistemas de Gerenciamento Ambiental, e a segunda é a avaliação de impactos através dos resultados da Análise do Ciclo de Vida de Produtos.

A Análise do Ciclo de Vida dos Produtos tem sido considerada a nova tendência de orientações de políticas e práticas ambientais e tem, na metodologia conhecida como Análise de Ciclo de Vida (ACV), sua principal ferramenta, visão esta apresentada por

diversos autores internacionais, no Brasil há poucos estudos e publicações sobre ACV. Esta metodologia está em fase de desenvolvimento, deverá, inevitavelmente, ganhar cada vez mais espaço nas atividades de gestão ambiental, permitindo melhores formas de usufruirmos os recursos naturais de forma a conhecer e reduzir os impactos ambientais, ressaltando ainda que ACV é uma ferramenta de uso multidisciplinar merecedora de investigações mais profundas.

Neste contexto a Análise do Ciclo de Vida é uma importante ferramenta que vem em muito auxiliar as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas ou relacionadas aos sistemas de produção (insumos, matérias-prima, manufaturas, distribuição, uso, reuso, reciclagem e disposição final). Permitindo o melhor entendimento dos aspectos ambientais ligados à produção de forma mais ampla, auxiliando na identificação de prioridades e ajudando os tomadores de decisão a selecionar seus produtos e processos de forma a causar o menor impacto ambiental.

A importância do desenvolvimento deste trabalho justifica-se, portanto, pela relevância dos produtos álcool e açúcar no contexto da atividade canavieira (usinas sucroalcooleira) no Estado de Mato Grosso do Sul, o meio ambiente. Uma vez novas usinas que serão implantadas no Estado. Utilizando a metodologia de ACV para propiciar uma avaliação destes produtos desde a extração dos recursos naturais “berço” sua manufatura, transporte, uso e descarte final “túmulo”, e seus impactos ambientais. Além de despertar interesse para o estabelecimento de bancos de dados associados a inventários de processos produtivos em geral, que possibilitem a utilização da metodologia de Análise do Ciclo de Vida dos Produtos, que ainda tem sua principal ferramenta “ACV”, pouco divulgada no Brasil, como processo de avaliação ambiental.

## **2. OBJETIVOS**

Demonstrar que a ACV é uma ferramenta técnica viável, nas questões ambientais. Capaz, de oferecer às empresas (e de uma maneira geral as diversas partes interessadas da sociedade, como governo, instituições de pesquisa a sociedade organizada, empresários entre outros); informações importantes para uma atuação ambiental responsável.

Como objetivos específicos figuram:

- Levantar dados de interesse ambiental associado produção de álcool e açúcar; identificando alguns dos impactos ambientais na indústria sucroalcooleira
- Mostrar a importância da análise do ciclo de vida da atividade sucroalcooleira em Mato Grosso do Sul.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Conceito de Análise de Ciclo de Vida dos Produtos – ACV

A Análise de Ciclo de Vida dos produtos (ACV) é uma metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto ou processo durante todo o seu ciclo de vida ou cadeia de produção. A Sociedade Internacional para a Química e Toxicologia Ambiental (SETAC) foi uma das fomentadoras da metodologia de ACV na América do Norte em 1990, sendo que os primeiros estudos de ACV no mundo foram realizados pela Coca-Cola em 1969, pelo *Midwest Research Institut* (MRI) nos EUA, com o objetivo de analisar diferentes tipos de embalagens para refrigerantes e qual apresentava índices menores de emissões.

Trata-se, portanto de uma ferramenta técnica para avaliação dos impactos ambientais associados à categoria de produto ao longo do seu ciclo de vida, compreendendo etapas que vão desde a extração de matérias primas e recursos energéticos (berço), incluindo as etapas de: manufatura do produto; o transporte de matérias primas, de insumos e do próprio produto, até a disposição final do produto (túmulo) após seu uso, Chehebe (1998). Na Figura 3.1 ilustra-se a representação básica da ACV.

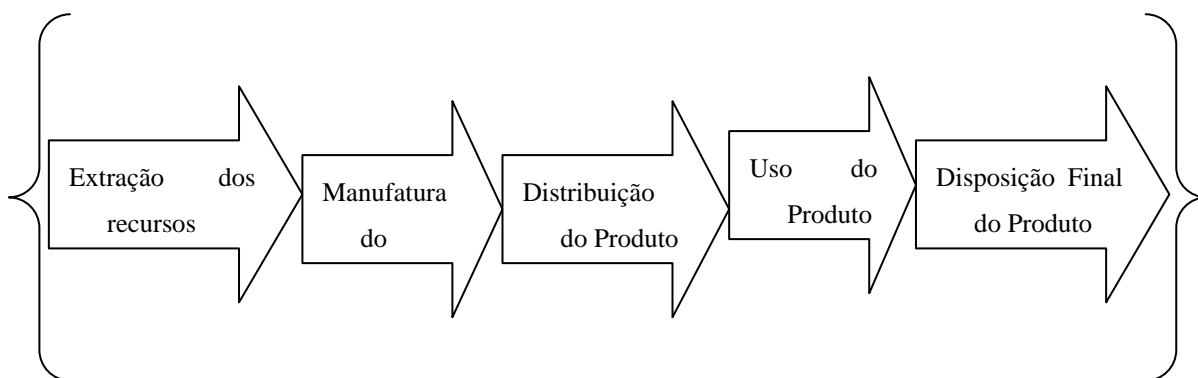


FIGURA 3.1 – Representação básica de ACV

Fonte: Adaptado de Chehebe (1998)

Conforme, Powell, Lorenzoni & White, (2000 apud PEREIRA, 2004) análises de ciclo de vida também devem ser realizadas para produtos com ciclo interno aos portões da fábrica. Estas análises serão utilizadas para comparar alternativas de processos produtivos.

Para Santos (2002, p. 10) tem-se que ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que estabelece uma visão geral das conseqüências ambientais de um produto através de seu ciclo de vida, desde a sua produção até a disposição final. A análise engloba o ciclo de vida do produto desde a extração das matérias-primas envolvendo todo o processo produtivo, utilização, as possibilidades de reciclagem e reuso até a disposição final. Na Figura 3.2 estão representadas as possíveis etapas do ciclo de vida que devem ser consideradas em uma ACV. Entradas / Saídas (USEPA, 2001).

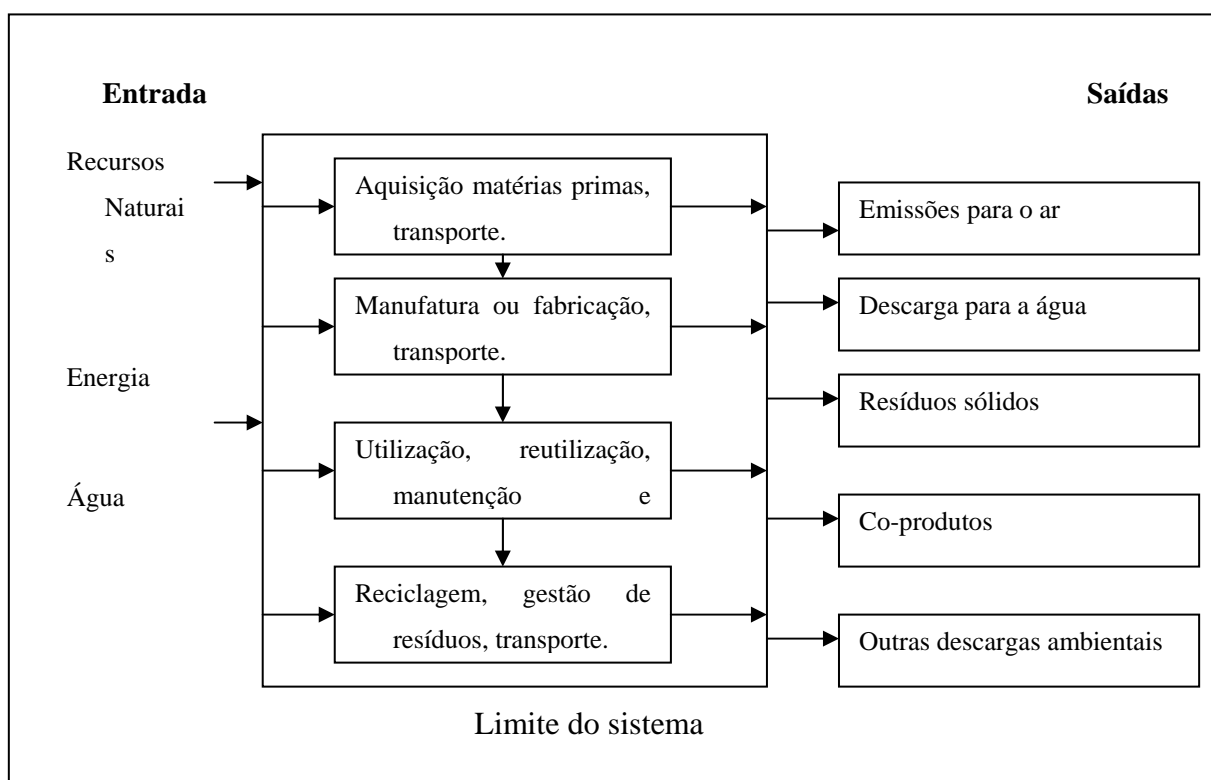


Figura 3.2. – Etapas do ciclo de vida do produto  
 Fonte: Adaptado de USEPA (2001)

A Organização Internacional para Normalização (*International Organization for Standardization*) – ISO 14000, SC 05 (1993 apud Lemos, 2007) – Define Análise do Ciclo de Vida de produto – ACV, como uma ferramenta cada vez mais aplicada aos processos produtivos, por permitir uma visão abrangente dos impactos ambientais ao longo de toda a cadeia de produção, incluindo a extração e aquisição das matérias primas, a fabricação do produto, sua embalagem, transporte e distribuição, seu uso, e seu descarte no final de sua vida útil. Considera também a possibilidade de reciclagem do produto. Por este motivo, a ACV é conhecida como uma abordagem do “berço ao túmulo” para o estudo dos impactos ambientais, que pode ser aplicada a produtos, atividades, processos ou serviços. A ACV é um estudo caro, pois exige uma equipe de profissionais especializados e demanda tempo

para sua execução. Na maioria dos países desenvolvidos, já existem bancos de dados básicos, sobre matérias primas, energia, transportes etc, que reduz o tempo e o custo da elaboração da ACV de um produto.

Definição: “A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante: a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo” ISO 14.040 (1997 apud RIBEIRO, 2003).

A Análise do Ciclo de Vida dos Produtos tem geralmente sua aplicação mais intensa na área industrial, tendo como objetivos de seus resultados no desenvolvimento de novos produtos e serviços, na identificação de pontos críticos e na otimização dos processos produtivos. Oferecendo subsídios para o planejamento estratégico tanto a nível privado como de políticas públicas, possibilitando a melhoria contínua dos processos. O maior benefício do uso desta metodologia está que através de seus resultados, diferentes efeitos ambientais são avaliados e quantificados, facilitando aos tomadores de decisão na seleção de produtos ou processos que resultem num menor impacto para o ambiente, permitindo ainda, os debates e a formulação de políticas públicas. (HANEGRAAF et al., 1998; ABNT, 2001; COLTRO, 2007; apud PEREIRA, 2008).

### **3.2. Conceito histórico**

Segundo Chehebe (1998), os princípios que envolvem a técnica de ACV, para visualizar os aspectos do ciclo de vida de produtos ocorreram no final dos anos sessenta e início dos anos setenta, estudo este focado em assuntos como eficiência energética, consumo de matérias primas, e na disposição de resíduos. Devido à primeira crise do petróleo.

Corroborando Hunt & Franklin (1996 apud FERREIRA, 2004), tem-se que um dos primeiros estudos quantificando as necessidades de recursos, para comparar consumo de matérias primas (insumos) e emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido pelo "*Midwest Research Institute*" (MRI) para a Companhia Coca Cola em 1969. Este estudo nunca foi publicado devido ao caráter confidencial do seu conteúdo, sendo, no entanto utilizado pela companhia, no início dos anos setenta como um



“input” nas suas decisões sobre embalagens. Nos EUA este processo de quantificação do uso dos recursos e emissões ficou conhecido como “*Resource and Environmental Profile Analysis – REPA*” (CHEHEBE,1998).

Um dos resultados interessantes do trabalho da Coca-Cola foi demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que esta reputação era baseada em más interpretações.

O mesmo Instituto (MRI), no final de 1972 iniciou um estudo nas embalagens de cervejas e sumos encomendados pela “*U.S. Environmental Protection Agency*” (USEPA), o qual marcou o início do desenvolvimento da ACV Guinée (1995 apud FERREIRA, 2004).

A intenção da USEPA era examinar as implicações ambientais da utilização de embalagens de vidro reutilizáveis em vez de latas e garrafas não reutilizáveis, porque na altura as garrafas reutilizáveis estavam a serem rapidamente substituídas por embalagens não-reutilizáveis. Esta foi de longe a mais ambiciosa REPA até a altura, tendo envolvido a indústria do vidro, aço, alumínio, papel e plástico e todos os fornecedores daquelas indústrias, tendo-se caracterizado mais de 40 materiais conforme, Hunt e Franklin (1996 apud FERREIRA, 2004) após o conhecimento dos resultados deste estudo, toda a gente assumiu que uma garrafa reutilizável seria claramente superior.

Enquanto isso, na Europa, estava sendo desenvolvido um inventário semelhante, denominado posteriormente “*Ecobalance*”. Em 1972 na Inglaterra, Ian Boustead calculou a energia total utilizada na produção de vários tipos de recipientes para bebida, incluindo vidro, plástico, aço e alumínio, consolidando nos anos seguintes a aplicabilidade de sua metodologia para uma variedade de materiais e, em 1979, publicou o Manual de Análise de Energia Industrial (FERREIRA 1999 apud PEREIRA, 2004).

Como se pode observar inicialmente o uso da energia foi considerada uma prioridade maior que produção e geração de resíduos. Motivo pelo qual havia pouca distinção entre elaboração de inventário de matéria prima necessária ao produto e a associação aos impactos ambientais relacionados. No entanto, após o fim da crise do petróleo, assuntos de energia deixaram de ser destaque e houve um longo período de baixo interesse público em ACV.

Este baixo interesse público em ACV é interrompido no final dos anos 80 e início dos 90 quando o interesse por ACV foi despertado por um número maior de pessoas (PEREIRA 2004).

Conforme Fink (1997 apud FERREIRA, 2004), o Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais (EMPA) publicou em 1984, um importante relatório com base no estudo "Balanço Ecológico de Materiais de Embalagem" (OFEFP, 1984) iniciado pelo governo, que tinha como objetivo estabelecer uma base de dados para os materiais de embalagem mais importantes: alumínio, vidro, plásticos, papel, papel cartão, chapas de lata. O estudo também introduziu um método para normalizar e agregar emissões para o ar e para a água utilizando as normas (legislação) para aquelas emissões e agregando-as, respectivamente nos chamados "volume crítico de ar" e "volume crítico de água". De alguma forma, esta filosofia de avaliar os impactos ambientais foi mais tarde desenvolvida e refinada por *Ahbe, Braunschweig e Müller-Wenk* no relatório Metodologia dos Ecobalancos (*Methodologie des Ecobilans sur la base de optimisation écologique*), no qual é proposto o cálculo de ecopontos.

A ACV, considerando mais os aspectos quantitativos, nos últimos 20 anos vêm sendo usada para comparação de diversas embalagens, seja de bebidas, alimentos “*fast food*” ou para transporte de produtos. Conforme Levy (1995 apud FERREIRA, 2004), vê-se que os inventários realizados nas décadas de 70 e 80 para quantificar recursos, uso de energia, resíduos sólidos gerados, emissões líquidas e gasosas dos produtos e processos produtivos, da matéria-prima ao descarte final, são estudos realizados através de uma metodologia conhecida por *Life Cycle Analysis* (Análise do Ciclo de Vida), que envolvia somente os aspectos quantitativos. No início da década de 90 foi abordada a necessidade de utilizar, além do inventário, um melhor entendimento e representação dos impactos ambientais nos estudos de análise de ciclo de vida. Foi então que a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) utilizou pela primeira vez, em 1990, o termo *Life Cycle Assessment - LCA* (Avaliação do Ciclo de Vida - ACV), que reuniria a etapa do inventário, já existente, à etapa de Avaliação de Impactos e de Avaliação de Melhorias.

A partir de 1990 houve um notável crescimento das atividades ACV na Europa e nos EUA, o qual é refletido no número de "*workshops*" e outros "*forums*" que têm sido organizados principalmente pela "*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*" (SETAC).

Através dos seus ramos na Europa e EUA a SETAC desempenha um importante papel reunindo profissionais, utilizadores e investigadores para colaborarem no melhoramento contínuo da metodologia ACV. Os relatórios dos primeiros "workshops" SETAC ilustram os desenvolvimentos metodológicos e de terminologia que ocorreram no início dos anos noventa (SETAC, 1991 apud FERREIRA, 2004).

A Organização Internacional para a Normalização (*International Organization for Standardization* – ISO) que é uma federação mundial composta por 130 membros de entidades nacionais de normalização, sendo um membro de cada país associado. Criou em 1992 um comitê técnico (TC 207/SC 5) em gestão ambiental, cujo objetivo é normalizar ferramentas e sistemas de gestão ambiental.

No dia 29 de novembro de 2002, o Comitê Brasileiro da Gestão Ambiental (ABNT/CB-38), empresas, universidades e o Ministério de Ciência e Tecnologia decidiram, em Seminário realizado no Rio de Janeiro, criar a ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida, sociedade sem fins lucrativos que tem a função de coordenar o trabalho de implantação da Avaliação do ciclo de Vida das principais cadeias produtivas brasileiras (RMAI, 2002).

Nota-se que atualmente o conceito de análise do ciclo de vida de produtos tem-se estendido para além de um simples método para comparar produtos, sendo visto como uma parte essencial para conseguir objetivos bem mais abrangentes, tais como sustentabilidade, mecanismos de desenvolvimento limpo – MDL (CURRAN, 1999).

O que se pôde perceber ao longo deste tempo é que ACV começa com estudos devidos à crise energética superada esta crise vários estudos e trabalhos (seminários e congressos) continuaram sendo realizados, e desempenharam, também, importante papel para o desenvolvimento da metodologia empregada na Análise do Ciclo de Vida – ACV, e sua normalização através das Normas ISO, comitê técnico (TC 207/SC 5). Criado pela ISO para elaborar normas de sistema de gestão ambiental e suas ferramentas. Os estudos e trabalhos continuam para o desenvolvimento de bancos de dados, *software* e políticas ambientais com foco nos produtos.

Atualmente não existem barreiras geográficas, que limitem a circulação de produtos, estes são produzidos no oriente, no ocidente, ou seja, em diversas partes circulam o mundo inteiro e dentro de uma visão da Análise do ciclo de vida serão transportados, utilizados e descartados nos mais diversos lugares. Portanto, essa interligação do processo

produtivo com a destinação final sem fronteiras geográficas, requer que se continue a desenvolver a metodologia de ACV a nível internacional.

Visando a disseminação da técnica de ACV, o MCT promoveu o Seminário "Impacto da Avaliação do Ciclo de Vida na Competitividade da Indústria Brasileira", em São Paulo, nos dias 03 e 04 de outubro de 2005.

Conforme MCT (2007), a Análise do Ciclo de Vida é considerada uma ferramenta relativamente nova no mundo e, atualmente, está sendo introduzida no Brasil, o País ainda não possui um banco de dados público disponível a consultas para estudos de ACV. A exemplo do que ocorre em diversos países, onde esses bancos são formados com investimentos públicos e privados, o MCT está dando início à construção de um banco de dados, por meio de parceria com diversas instituições. Entre elas: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que sediará o banco de dados, Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Confederação Nacional da Indústria (CNI), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Instituto Euvaldo Lodi (IEL), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica (Abipti), Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR) e Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR).

### **3.3. Padronização e Normatização**

A maior dificuldade no uso da metodologia ACV está na necessidade de competir por simplicidade, ou seja, mostrar com mais clareza e simplicidade os seus resultados. Auxiliando os profissionais a terem maior credibilidade, permitindo assim, maior adesão ao processo por parte dos tomadores de decisão, empresários, poder público entre outros.

[...] precisamos encontrar um modo simples de comunicar os resultados da ACV, porque a maioria das pessoas não tem tempo nem interesse para ler documentos inteiros. As respostas devem ser simples, possibilitando a análise rápida, pois não há nenhuma forma dos tomadores de decisão conferirem a validade de todos os resultados (MARIANE HOUNUM – Agência de Proteção Ambiental da Dinamarca, apud JENSEN, 1997).

Krählling (1999 apud FERREIRA, 2004 p. 22), afirma que a padronização da metodologia de ACV foi sem dúvida fundamental para a aceitação e maior utilização desta ferramenta. Sendo que os princípios e requerimentos gerais da ACV foram estabelecidos pela norma internacionais ISO 14040 em 1997. Esta norma foi internalizada no Brasil pela ABNT, por meio do Comitê Brasileiro – CB 38, sendo publicada em novembro de 2001 como: NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – princípios e estrutura.

Conforme, Santos (2002) tem-se que as normas da série ISO 14000 são desenvolvidas por seis subcomitês (SC) e dois grupos de trabalho (WG) cujas responsabilidades são delegadas a alguns países membros. O subcomitê 5 (SC5) dirigido pela Alemanha é responsável pela elaboração das normas que darão diretrizes para os estudos de análise de ciclo de vida dos produtos. Estas normas abordarão os estudos de inventário, a determinação dos impactos ambientais e a melhoria ambiental dos produtos. Permitindo avaliação de todos os efeitos ambientais causados desde a extração da matéria-prima até o destino final do produto. Normas publicadas até hoje relacionadas ao SC5 : Análise do Ciclo de Vida:

ISO 14040: 1997 *Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework* – Princípios e diretrizes;

ISO 14041: 1998 *Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis* – Análise do Inventário;

ISO 14042: 2000 *Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment* – Avaliação do impacto;

ISO 14043: 2000 *Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation* – Interpretação;

ISO/TR 14047: 2003 *Environmental management -- Life cycle impact assessment -- Examples of application of ISO 14042* - Exemplos de aplicação da ISO 14042; e

ISO/TR 14049: 2000 *Environmental management -- Life cycle assessment -- Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis* –; Exemplos de aplicação da ISO 14041.

### 3.4. Etapas da Análise do Ciclo de Vida de Produtos

Conforme Santos (2002) – “ISO 14040” as fases ou etapas da Análise do Ciclo de Vida de Produtos devem incluir a definição do Objetivo e Escopo da análise, Análise do Inventário dos processos envolvidos, com enumeração das entradas e saídas do sistema, Avaliação de Impactos ambientais associados às entradas e saídas do sistema; e Interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, conforme ilustrado na figura 3.3

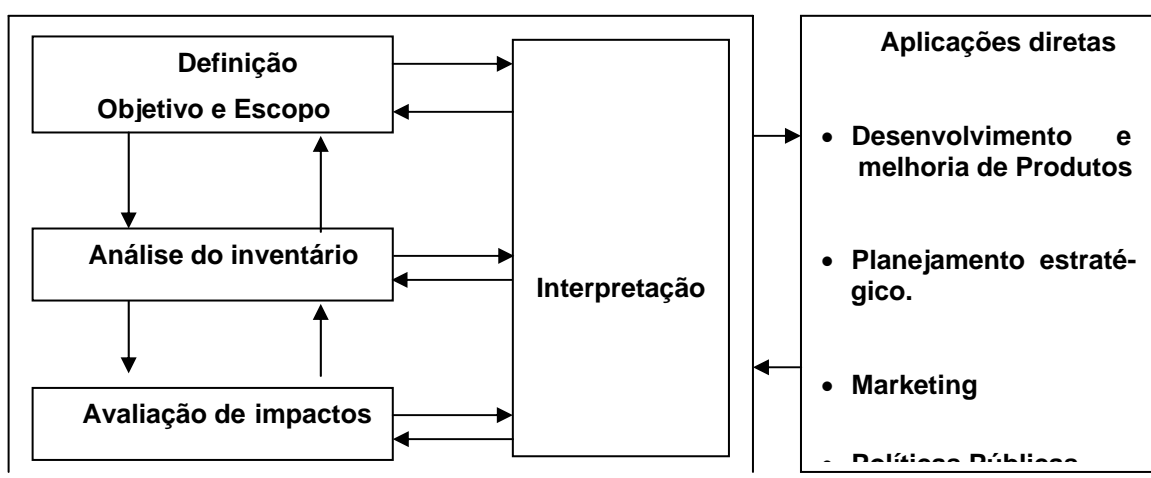


Figura 3. 3 – Etapas da Análise do Ciclo de Vida de Produtos.

Fonte: adaptado de ISO 14040 (2001)

A primeira fase da ACV – **Definição do Objetivo e do Escopo**, consiste na definição dos objetivos do estudo, seu âmbito, estabelecimento da unidade funcional, e o estabelecimento de procedimentos que assegurem a qualidade do estudo. Segundo a Norma ISO 14040, o objetivo de um estudo ACV deve de forma inequívoca expor a aplicação pretendida, as razões para levar a cabo o estudo e audiência pretendida (público alvo) a quem serão comunicados os resultados do estudo.

Os estudos de avaliação do Ciclo do Ciclo de Vida de Produtos podem ser utilizados com diferentes objetivos, devido a sua versatilidade e possibilidade de aplicação a diferentes processos e sistemas. O objetivo do estudo pode ser a exemplo: o gerenciamento de recursos naturais; a identificação de impacto de um determinado produto ou serviço; a identificação das etapas produtivas responsáveis pelos maiores impactos dentro de um ciclo produtivo; a identificação de etapas produtivas onde uma redução de

impactos pode ser alcançada; a avaliação de opções de produto ou processo com menor impacto ambiental, entre outros. (USEPA, 2001; COLTRO, 2007; PEREIRA, 2008).

Nesta fase inicial de ACV o objetivo do estudo, portanto, delinea as informações que este deverá fornecer de acordo com o propósito do trabalho. Exemplo: que impacto ambiental deve ser investigado – acidificação, eutrofização, toxicidade humana, entre outros; que processo ou sistema causa menor dano ambiental dentre os envolvidos no limites do escopo. Os resultados obtidos poderão subsidiar decisões internas da empresa (troca de fornecedores, mudanças no processo de produção, compra de maquinário, entre outras), e ou decisões externas (políticas de governo, mudanças de legislação, entre outras). O delineamento do objetivo e os resultados esperados darão o rumo ao desenvolvimento da ACV.

Segundo Chehebe (1998), a forma simplificada estabelecida na norma ISO 14040 sobre o conteúdo mínimo do escopo de um estudo de ACV deve referir-se às suas três dimensões que são:

- onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida (a extensão da ACV);
- quantos e quais subsistemas incluir (a largura da ACV); e
- o nível de detalhes do estudo (a profundidade da ACV).

Estas dimensões devem ser definidas de forma compatível e suficiente para atender o estabelecido nos objetivos do estudo, bem como as informações necessárias para a condução do estudo e a forma de interpretação de seus resultados.

Conforme Xavier (2003, p.43) o escopo determina para quais produtos e processos devem-se coletar dados, assim como a localização geográfica, o nível tecnológico e referência histórica desses processos. Devendo ainda definir os limites para outros sistemas de produção que usam os mesmos processos. Incluindo a escolha dos parâmetros ambientais e os métodos para determinação e interpretação dos impactos ambientais. O escopo tem como resultado a definição da estratégia para a coleta e seleção das informações essenciais para a realização do estudo.

Corroborando tem-se em Ribeiro (2003) e ISO 14041 (ABNT, 2004) que na definição do objetivo e do escopo da análise do ciclo de vida de produtos também devem ser considerados:

- O sistema a ser estudado: de acordo com a Norma ISO 14001 (ABNT, 1996) consiste no conjunto de unidades do processo, conectadas material ou energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas. Sendo a pormenorização

do modelo a ser estudado na ACV, descendo muitas vezes ao nível das operações unitárias envolvidas.

- Unidade do processo: considerada a menor parte de um sistema produtivo, sendo a razão para dividir um sistema relacionado ao produto em unidades de processo, a facilidade de identificação de entradas e saídas desse sistema. Os limites da unidade do processo são determinados pelo grau de detalhamento necessário para satisfazer os objetivos do estudo.
- Função do sistema de produto: define a que se presta o sistema que se está analisando, ou seja, qual a finalidade do uso do produto.
- Unidade Funcional (UF): é a unidade de medida da função anteriormente estabelecida. Trata-se da unidade que relaciona o consumo de recursos e os efeitos ambientais produzidos. Devendo prover uma referência para a qual as quantificações de entradas e saídas do sistema (aspectos ambientais) serão normalizadas. ISO 14041 (ABNT, 2004).
- As fronteiras do sistema: As fronteiras do sistema definem os processos a serem incluídos no estudo. A recomendação ideal seria que todas as etapas fossem incluídas no estudo, entretanto na maioria das vezes não haverá tempo, dados ou recursos suficientes para conduzir este estudo mais abrangente. Decisões serão tomadas para definir quais etapas e a que níveis de detalhes estes serão estudados. A decisão de se omitir estágios do ciclo de vida, processos ou entradas / saídas devem ser claramente declarados nesta etapa.
- Procedimentos de alocação: Vários são os processos que possuem mais de uma saída de interesse para o processo produtivo. Que podem gerar outros produtos ou subprodutos, que são incorporados ao processo por reuso ou reciclagem. Sendo estes resultados de interesse para o sistema de produto, é justo que cada um seja responsável por uma parcela dos aspectos ambientais do processo. Para tal desenvolve-se o procedimento de alocação, que busca criar um método de distribuição das contribuições aos impactos entre os diferentes resultados do sistema, conforme Wenzel et al. (1997 apud RIBEIRO, 2003, p.18). Portanto, a cada produto ou subproduto atribui-se uma parcela dos aspectos que o sistema possui até o momento da geração. Várias são as técnicas de alocação, segundo os critérios adotados, sendo os mais conhecidos: o critério de massa e o critério econômico.



- **Categorias de impactos:** Sendo necessário para dar continuidade aos estudos após o inventário são estabelecidos critérios de avaliação de aspectos ambientais que é feito através das categorias de impactos, denominação genérica dos tipos de impacto que serão considerados no estudo. Sua definição segue os propósitos do estudo e deve ser particular para cada estudo. Exemplo tem-se: aquecimento global, diminuição da camada de ozônio, acidificação do solo, eutrofização, toxicidade humana, consumo de recursos naturais, entre outros.
- **Qualidade dos dados:** As descrições das qualidades dos dados são importantes para compreender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretar apropriadamente o resultado do estudo. Devem ser especificados os requisitos da qualidade dos dados para possibilitar que o objetivo e o escopo do estudo sejam plenamente alcançados.

A Norma ISO 14041 (ABNT, 2004), recomenda que a qualidade dos dados seja caracterizada tanto por meio de aspectos quantitativos e qualitativos quanto pelos métodos usados para coletar e integrar esses dados, sendo conveniente que sejam incluídos requisitos da qualidade dos dados para os parâmetros de: cobertura temporal; cobertura geográfica; e cobertura tecnológica.

De acordo com USEPA (2001 apud PEREIRA, 2008). Tem-se que a precisão dos estudos depende da finalidade deste e dos recursos disponíveis, podendo ser utilizados dados exatos, provenientes de estudo e levantamentos *in loco*, ou estimativas baseadas em dados estatísticos. As fontes de dados a ser utilizada também podem variar bastante, podendo ser de dados primários (compilados, ou mensurados no estudo) ou secundários (de fontes confiáveis ou revisão bibliográficas).

A segunda fase da ACV – **Análise do Inventário** são efetuadas a coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões para a atmosfera, efluentes, resíduos sólidos, entre outros) envolvidas durante o ciclo de vida de um produto (análise horizontal), processos e ou atividades (análise vertical) Chehebe (1998). Ou seja, concerne na coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto.

O Inventário do ciclo de vida (ICV) de um produto refere-se à coleta de dados e todos os procedimentos de cálculos. Em sua preparação os consumos de energia e matérias-primas e as emissões atmosféricas, emissões para os corpos d' água, resíduos sólidos ou outras formas de saídas das unidades de processos em estudo, são identificadas e quantificadas. Esta quantificação é semelhante a um balanço contábil-financeiro, só que

com mensurações em termos energéticos ou de massa, ou seja, o total que entra no sistema em estudo deve ser igual ao que sai. O ICV fornece subsídios, informações para a avaliação dos impactos ambientais.

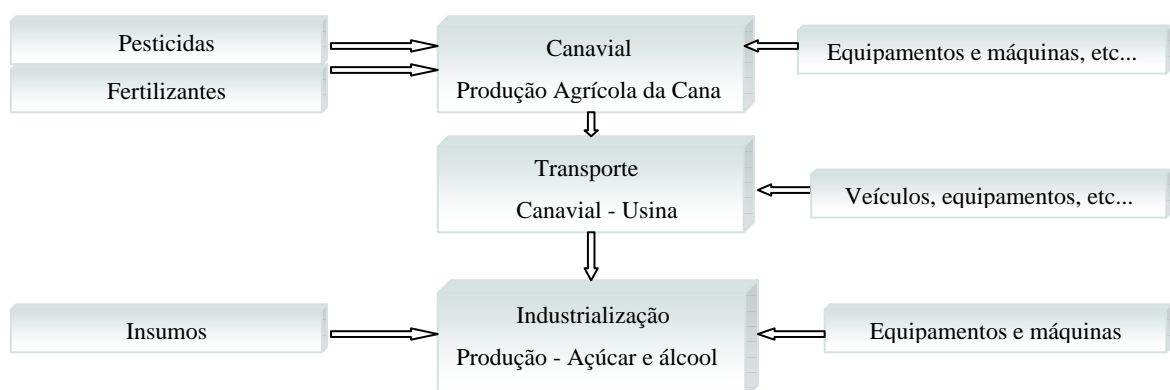
De uma forma geral deve-se organizar a fase de análise do inventário de acordo com o objetivo e o escopo do estudo; com o nível de precisão e de detalhamento da coleta de dados, alguns parâmetros da Norma ISO 14040 e ISO 14041 devem ser obedecidos.

Em Chehebe (1998, p.23), tem-se que as Normas ISO 14040 e ISO 14041 estabelecem respectivamente os parâmetros gerais para a análise de inventário e seus procedimentos de forma mais detalhada.

De acordo com a Norma ISO 14040 (ABNT, 2001) o esquema geral para o inventário deve ser constituído:

- da apresentação do sistema de produto a ser estudado e dos limites considerados em termos dos estágios de ciclo de vida, unidade de processo e entrada e saídas dos sistemas;
- da base para a comparação entre sistemas (estudos comparativos);
- dos procedimentos de cálculos e da coleta de dados, incluindo-se as regras para alocação de produtos e o tratamento dispensado à energia; e
- dos elementos necessários a uma correta interpretação, por parte do, dos resultados da análise do inventário.

Conforme Pereira (2008) um dos primeiros passos do ICV é a preparação do fluxograma do sistema ou árvore do processo a ser estudado, onde cada unidade do processo é representada com suas interligações entre os subsistemas, Na figura 3.4. tem-se um diagrama dos processos envolvidos na produção de álcool e açúcar que serão objeto deste estudo.



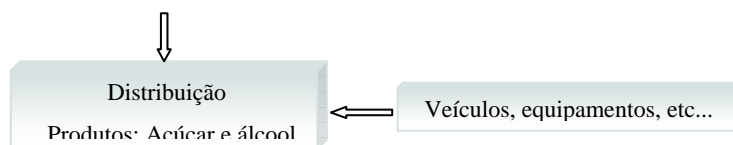


Figura 3. 4 – Representação esquemática dos processos na indústria sucroalcooleira

A preparação do fluxograma facilitará a coleta de dados, pois é a partir deste que são estabelecidos os limites do estudo e mostram as unidades do processo, incluindo suas interligações.

A coleta de dados tarefa que também é realizada nesta fase é a que mais consome tempo e, talvez recursos da ACV. Os dados coletados devem ser compilados considerando as cargas ambientais, ou os itens a serem avaliados, e na unidade funcional já definida na fase anterior. O procedimento da coleta de dados varia entre diferentes estudos e também entre diferentes tipos de processos, mas é importante registrar todas as informações, fontes de dados e hipóteses admitidas.

De acordo com Wenzel et al. (1997 apud RIBEIRO, 2003, p.19), este procedimento de coleta pode ser realizado através de 4 fontes de dados: banco de dados eletrônicos, dados de literatura (revisão bibliográfica), dados passados por terceiros ou com aplicação de questionários específicos (empresas, órgãos de governo, associações, laboratórios, entre outros), e medições diretas em campo ou cálculos teóricos.

O resultado de ICV é uma lista contendo os volumes consumidos de energia e de materiais e as quantidades de emissões ao meio ambiente ou planilha de impactos ambientais para o sistema estudado. Tais informações podem estar organizadas por etapas do ciclo de vida (unidades do processo), ou uma combinação destas unidades.

Das informações coletadas e quantificadas na fase anterior que resulta em uma longa lista de dados com intervenções ambientais importantes, associados ao sistema de processo do produto, podem ser de difícil análise e interpretação.

A **Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida – AICV** terceira fase da ACV tem como propósito determinar a intensidade com que estas intervenções ambientais se relacionam com os problemas ambientais e ainda fornecer subsídios para a fase de interpretação, ou seja, a avaliação de impacto consiste numa técnica que caracteriza e avalia os efeitos da carga ambiental identificada no ICV.

Conforme Chehebe (1998), a Avaliação de Impacto é a fase da ACV que procura identificar, caracterizar e avaliar, quantitativamente, impactos potenciais das intervenções ambientais identificadas na etapa de análise do inventário. Sendo que para que tal ocorra, o processo de avaliação de impactos seja composto no mínimo dos seguintes elementos:

- Seleção e definição das categorias que serão cobertas pelo estudo – onde são identificados os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará. O Quadro 3.1 a seguir apresenta as categorias de impactos mais utilizadas em ACV.
- Classificação – onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias selecionadas (relacionadas a efeito ou impactos ambientais conhecidos – aquecimento global, acidificação, saúde humana, exaustão dos recursos naturais, entre outros), A atribuição adequada é crucial nesses casos para a relevância e validade da avaliação de impacto.
- Caracterização – onde os dados do inventário atribuídos a uma determinada categoria são modelados de forma a que os resultados possam ser expressos na forma de um indicador numérico para aquela categoria.

Para a caracterização dos impactos ambientais é necessário que as contribuições para cada problema ambiental sejam quantificadas. A lista a seguir mostra como essas contribuições são medidas (CHEHEBE, 1998, p.76).

- Exaustão dos Recursos não Renováveis (RNR) – medida em relação á oferta global de recurso.
- Potencial de Aquecimento Global (PAG) – medida em relação ao efeito de 1Kg de CO<sub>2</sub>.
- Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) – medida em relação ao efeito de 1 Kg de ethyleno.
- Potencial de Acidificação (PA) – medida em relação ao efeito de 1Kg de SO<sub>2</sub>.
- Potencial de Toxicidade Humana (PTH) – medida como a massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicológico aceitável por 1Kg de substância.
- Eco Toxicidade Aquática (ECA) – volume de água que estaria poluída a um nível crítico por 1 Kg de substância.
- Eco Toxicidade Terrestre (ECT) – massa de solo que estaria poluída a um nível crítico por 1 Kg de substância.

- Potencial de Nutrição (PN) – medida em relação ao efeito de 1 Kg de fosfato.
- Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO) – medida em relação ao efeito de 1 Kg de CFC – 11.

No caso do aquecimento global citado na lista, deve-se converter a contribuição de todos os gases que causam o aquecimento do planeta tomando-se como substância de referência o CO<sub>2</sub>. Ou seja, o efeito de aquecimento pelo metano é representado em termos da quantidade equivalente de CO<sub>2</sub> que causaria o mesmo efeito.

Os fatores de caracterização indicam quanto uma determinada substância contribui para um determinado problema ambiental sempre comparada a uma substância de referência. Assim, como tratado anteriormente, o valor para o metano igual a 21, significa que 1 Kg de metano tem o mesmo efeito no aquecimento global que 21 Kg de CO<sub>2</sub>.

Hanegraaf et al.(1998) e Roest (2000) (apud PEREIRA, 2008, p.18) afirmam que no caso da ACV para atividade agrícola, outros impactos são também importantes e podem ser significativos. Como o uso do solo, que é um impacto importante porque a disponibilidade da área agricultável é limitada. Por outro lado, o tipo de ocupação, ou atividade agrícola, e sua intensidade estão diretamente relacionados ao volume de emissões por área, aos diferentes ciclos de nutrientes (nitrogênio, fósforo) e a sua capacidade de absorção das emissões antrópicas.

Portanto, para Cowell; Lindeijer; Mattsson et al. (2000 apud PEREIRA, 2008, p.18) o impacto está associado a vários fatores quanto ao uso e ocupação de uma área.

[...] este impacto ambiental está associado tanto à ocupação de uma área como também a sua degradação, a sua transformação e à biodiversidade da região. Sua avaliação deve ser feita através de uma série de índices, como por exemplo, pela área necessária para produzir uma unidade funcional, perda de solo devido à erosão, perda de biodiversidade, variação em pH do solo, entre outros (COWELL; LINDEIJER; MATTSSON et al. 2000 apud PEREIRA, 2008, p.18)

A normalização dos dados torna-se necessária uma vez que os resultados da caracterização são listas de quadros chamados de perfis ambientais que podem não ser de fácil comparação.

Este procedimento busca normalizar os dados ambientais em relação a um valor de referência que pode ser, por exemplo: um determinado produto ou substância; uma determinada condição de referência (área geográfica ou uma média de indústria); um determinado valor crítico (valor legal de limite de poluição); uma expressão econômica da importância do parâmetro (custo de prevenção). Um exemplo de perfil normalizado é

representado no Quadro 3.1 – Categorias de Impactos Ambientais normalmente utilizadas em Estudos ACV (USEPA, 2001).

Quadro 3. 1 – Categorias de Impactos utilizadas em Estudos de ACV

Categoria de Impacto	Escala	Dado do ICV	Fator de caracterização	Descrição do fator de caracterização
Aquecimento global	Global	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) Metano (CH <sub>4</sub> ) Clorofluorcarboneto (CFCs) Hidroclorofluorcarboneto (HCFCs) Brometo de metila (CH <sub>3</sub> Br)	Potencial de aquecimento Global	Converte os dados de carbono ICV para equivalente de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )*
Diminuição da camada de Ozônio	Global	Clorofluorcarboneto (CFCs) Hidroclorofluorcarboneto (HCFCs) Brometo de metila (CH <sub>3</sub> Br)	Potencial de diminuição da camada de Ozônio	Converte os dados do ICV para equivalente de (CFC -11) triclorofluormetano
Acidificação	Regional Local	Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> ) Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) Ácido clorídrico (HCl) Ácido hidrofúrico (HF) Amônia (NH <sub>4</sub> )	Potencial de Acidificação	Converte os dados do ICV para equivalente de íon hidrogênio (H <sup>+</sup> )
Eutrofização	Local	Fosfato (PO <sub>4</sub> ) Óxido de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) Nitratos e Amônia (NH <sub>4</sub> )	Potencial de Eutrofização	Converte os dados do ICV para equivalente de fosfato (PO <sub>4</sub> )
Neblina fotoquímica	Local	Hidrocarbonetos sem metano (NMHC, em inglês: <i>Non-methane hydrocarbons</i> )	Potencial de criação de neblina fotoquímica	Converte os dados em equivalentes de etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )
Toxidade terrestre	Local	Substâncias químicas tóxicas em uma concentração letal relatada para roedores	LC <sub>50</sub>	Converte os dados de L <sub>50</sub> para equivalentes
Toxidade aquática	Local	Substâncias químicas tóxicas em uma concentração letal relatada	LC <sub>50</sub>	Converte os dados de L <sub>50</sub> para equivalentes

\* potencial de aquecimento global pode ser expresso para 50, 100 e 500 anos.

		para peixes		
Toxicidade humana	Global Regional Local	Emissões totais para o ar, para os corpos d'água e para o solo	LC <sub>50</sub>	Converte os dados de L <sub>50</sub> para equivalentes
Esgotamento de recursos naturais	Global Regional Local	Volume de minerais utilizados, volume de combustível fóssil utilizado.	Potencial esgotamento de recursos naturais	Converte os dados do ICV para uma razão entre a quantidade de recursos ainda em reserva
Uso da terra para depósito de lixo	Global Regional Local	Volume enviado para aterro sanitário	Resíduo Sólido	Converte a massa de lixo sólido para volume usando uma densidade estimada

Fonte: Adaptado de USEPA (2001)

Normalmente após a normalização são feitos o agrupamento e a ponderação estas três etapas da Avaliação de impactos do ciclo de vida são opcionais e conforme Coltro (2007, p. 10) não são recomendadas no caso de estudos brasileiros devido à falta de padrões nacionais.

O agrupamento consiste na atribuição das categorias de impacto a um ou mais grupos, ou seja, na classificação por magnitude ou importância, enquanto a ponderação é feita quando os resultados dos diferentes impactos são convertidos a uma mesma base empregando-se fatores numéricos e convertendo os resultados em um único número.

Na **Interpretação** última fase da ACV, os resultados obtidos nas fases anteriores são analisados de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo, se necessário deve se refazer parte do estudo. Conforme a Norma ISO 14041 (ABNT, 2004), na fase de interpretação deve-se incluir uma avaliação da qualidade dos dados e análises de sensibilidade de entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas, a fim de permitir a compreensão das incertezas dos resultados.

Em Chehebe (1998), tem-se ainda, que a interpretação de uma ACV compreende três etapas: Identificação de questões ambientais significativas; avaliação; e conclusões e recomendações para o relatório. Considerando o seguinte em relação aos objetivos do estudo: se a definição do sistema e da unidade funcional é apropriada; se a definição dos limites do sistema é apropriada; as limitações identificadas pela avaliação da qualidade dos

dados e pela análise de sensibilidade. A representação da fase interpretação está representada na figura 2.5.

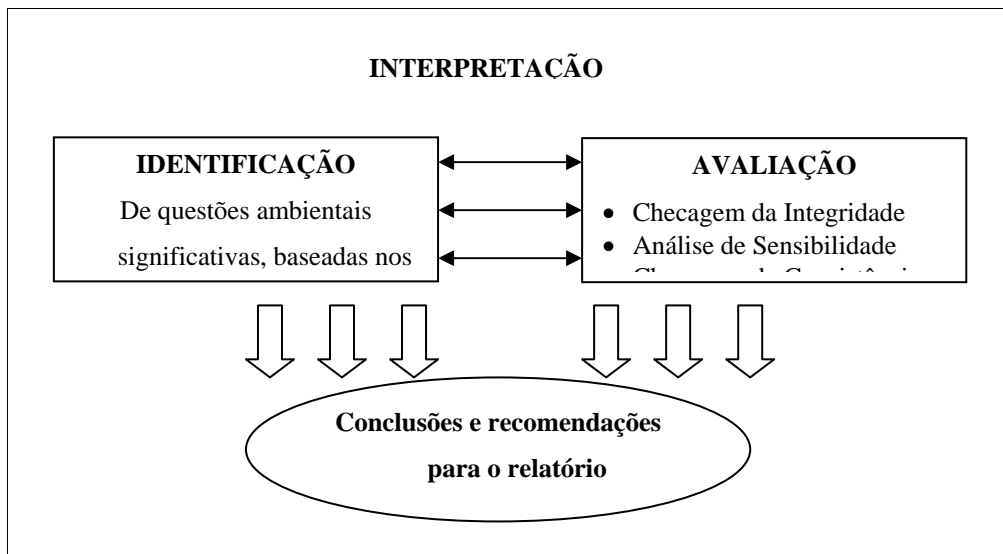


Figura 3.5 – As três etapas da fase de interpretação  
Fonte: Chehebe (1998, p.88)

### 3.5. O uso da Análise do Ciclo de Vida de Produtos no mundo

De uma maneira geral, as empresas, indústrias estavam interessadas em um enfoque mais defensivo protegendo seus produtos de declarações ambientais feitas por competidores e organizações não-governamentais. Independentes da necessidade de responderem às pressões ambientais algumas empresas já haviam iniciado a procura de novas ferramentas técnicas que considerassem as questões ambientais com variáveis importantes nas decisões de investimento e desenvolvimento interno de produtos complexos (CHEHEBE 1998).

O uso da ACV encoraja as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção (insumo, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso, reciclagem). Colaborando com um melhor entendimento do processo produtivo relacionado às questões ambientais de forma mais ampla, auxiliando na identificação de prioridades e afastando-se do enfoque tradicional *end-of-pipe* para a proteção ambiental. Ajudando ainda, a identificar oportunidades de melhoras dos aspectos ambientais considerando as várias fases o sistema produtivo (CHEHEBE 1998).



Alguns estudos realizados com diferentes objetivos e para os mais diversos produtos e serviços são citados por Pereira (2008, p.20:26), transcritos abaixo:

Ahlgren (2004) que comparou através da ACV o consumo de energia e os impactos ambientais de dois sistemas de controle de pragas, um químico e outro mecânico e concluiu que, o sistema mecânico apresentou impacto ambiental um pouco superior ao químico, devido principalmente às emissões de gases e ao consumo energético, mas possui a vantagem de não usar herbicidas.

Haas et al. (2001) que utilizaram a metodologia ACV para avaliar o impacto ambiental causado por fazendas leiteiras na Alemanha. No estudo adotou-se uma tonelada de leite como unidade funcional para permitir a comparação com os sistemas intensivo, extensivo e orgânico de produção. Com o estudo percebeu-se que os sistemas extensivo e orgânico causam menor impacto do que o sistema intensivo. Em geral, o sistema orgânico apresentou desempenho ligeiramente melhor do que o sistema extensivo, porém no item relativo à biodiversidade, o sistema orgânico apresentou resultados significativamente melhores.

O estudo da produção integrada de laranjas na Espanha foi realizado por Sanjuán et al. (2003). Cujo objetivo do estudo era avaliar os impactos ambientais associados à produção de laranja avaliar a utilização da ACV em produtos agrícolas. A unidade funcional utilizada no estudo foi 1kg de laranja. Os principais impactos associados a esta cultura foram a eutrofização e o consumo de fosfato de rocha. Os pesquisadores, entretanto, salientaram que a falta de dados dificulta o estudo e que, no caso de produtos agrícolas, há necessidade de realização de ACV para a produção de diferentes fertilizantes a fim de se obter resultados mais confiáveis. Outra observação dos pesquisadores que estes estudos de ACV devem ser realizados considerando os impactos ambientais críticos para a região onde se encontra o sistema estudado, e estes impactos podem variar em função da região, mesmo se tratando do mesmo produto agrícola.

Coltro et al. (2006) que avaliaram a produção de café no Brasil através da metodologia de ACV. Utilizou-se neste estudo como unidade funcional uma tonelada de café grão verde destinado à exportação. Compararam o consumo de insumos e de resíduos de fazendas das principais áreas produtoras de café. Com os resultados percebeu-se que, apesar das diferenças no manejo e das condições topográficas e climáticas, não existe correlação entre o consumo de fertilizantes e pesticidas e a produtividade do cafezal. Este

resultado é expressivo, pois a utilização destes insumos está diretamente relacionada às emissões poluentes.

Yusoff e Hansen (2007), que avaliaram a produção de óleo de palma, produzido na Malásia, incluindo a etapa agrícola, o transporte até a fábrica e o processamento do óleo. A unidade funcional estabelecida foi uma tonelada de óleo processado. Com os resultados os pesquisadores perceberam que a produção de óleo de palma (agrícola e industrial) é responsável por 3,5% dos impactos ambientais do país. Estes pesquisadores recomendaram estudos para a identificação de possíveis alternativas para a diminuição dos impactos, sugerindo, ainda algumas alternativas como adoção de manejo agrícola mais ecológico e com melhor aproveitamento dos resíduos industriais.

Os biocombustíveis têm sido também estudados pela metodologia de ACV. Lave et al. (2000) avaliaram a utilização de veículos movidos por diferentes combustíveis – gasolina, diesel, gás natural, etanol de milho, eletricidade e híbridos. No estudo foram incluídas as etapas de produção dos combustíveis, fabricação dos automóveis e o uso do combustível. Percebe-se nos resultados que, com exceção dos carros elétricos, o maior volume de emissões ocorre no uso do combustível, e não nas etapas de produção. O etanol e a energia elétrica foram às fontes energéticas com menores emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, os autores salientam que, o uso de combustíveis fósseis nas etapas agrícola e industrial da produção de etanol eleva as emissões, podendo, dependendo das práticas agrícolas adotadas, igualarem-se às emissões dos combustíveis fósseis.

Kaam (2002) em seus estudos avaliou os benefícios do uso de etanol produzido a partir da hidrólise de bagaço de cana usada para a produção de açúcar na Índia. A condição existente, onde o bagaço excedente não era utilizado representando grande volume de resíduos, foi comparada com um cenário de utilização do bagaço como matéria prima na produção do etanol para adição à gasolina. Com os resultados percebeu-se que o segundo cenário apresentou menores impactos devido, principalmente, à substituição da gasolina.

Kim e Dale (2005) utilizando a metodologia de ACV avaliaram a produção de biocombustível produzido a partir de milho de soja. Utilizaram com unidade funcional um hectare de área plantada e os impactos considerados foram consumos de recursos energéticos não renováveis, aquecimento global, acidificação e eutrofização. Concluíram que, os biocombustíveis, independente da matéria prima, quando comparados com combustíveis fósseis, consomem menores volumes de fontes não renováveis e menores emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, as culturas destinadas à produção de

biocombustíveis são responsáveis por externalidades locais importantes, acidificação do solo e eutrofização. Assim, recomendam que as práticas agrícolas sejam avaliadas e melhoradas de tal forma a minimizar tais efeitos negativos.

Como se pôde perceber o uso da ACV nos estudos já realizados constitui uma forte tentativa de integração da Qualidade Tecnológica do Produto (empresas, indústrias), da Qualidade Ambiental (o mundo em que vivemos) e do Valor Agregado para o Consumidor e a Sociedade (suprindo suas necessidades). Permite as mais diversas abordagens, dependendo do objetivo do estudo e dos impactos ambientais que se deseja avaliar. As comparações entre estudos de um mesmo produto não são fáceis porque em geral os estudos utilizam unidades funcionais e fronteiras diferentes, ou seja, os processos incluídos na análise podem variar. Desta forma, os resultados da ACV devem ser avaliados considerando sempre o seu objetivo.

Segundo Chehebe (1998) vários são os países que vêm se utilizando as técnicas de ACV para traçar suas políticas governamentais. A exemplo temos: Áustria, Canadá, Finlândia, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega, Suécia e Estados Unidos.

Têm-se ainda, algumas organizações supra governamentais ou profissionais envolvidas no uso e/ou desenvolvendo técnicas de ACV.

A SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – é uma sociedade profissional de indivíduos e grupos para estudos de problemas ambientais. Sendo um dos que mais desenvolvem esta metodologia (ACV). Muitos dos conceitos desenvolvidos na SETAC foram adotados pela ISO.

A UNEP – *United Nations Environment Program* – estabeleceu um grupo de trabalhos sobre desenvolvimento auto-sustentado de produtos para promover o uso mais racional dos recursos na produção.

A OECD – *Organization for Economic Cooperation and Development* – através de seu grupo de Prevenção e Controle da Poluição, desenvolveu um programa de trabalho para os próximos anos sobre gerenciamento do ciclo de vida e política de produtos com o objetivo de rever a prática corrente e avaliar o uso dos métodos de ciclo de vida como apoio às decisões de políticas públicas.

No Brasil, a Análise do Ciclo de Vida de Produtos ainda não é uma ferramenta muito difundida. Poucas empresas e instituições como é o caso da Mercedes-Benz do Brasil e do Instituto Técnico de Alimentação – ITAL utilizam essa ferramenta.

### 3.6. Usinas sucroalcooleira

A Revisão bibliográfica sobre as usinas Sucroalcooleiras tem como propósito específico de adquirir o máximo de conhecimento sobre o assunto a ser tratado para definição do modelo e dos produtos a serem estudados (álcool e açúcar) para a realização deste trabalho. Procura-se, portanto manter o foco nas etapas de produção, além de buscar identificar ao longo destas etapas os aspectos ambientais de importância, ou seja, aqueles referentes a fluxos de matérias e de energia que se mostrarem significativos.

Para tanto se pesquisa na literatura conceitos e entendimentos sobre usinas de cana-de-açúcar (usinas sucroalcooleira ou agroindústria canavieira).

A cana-de-açúcar nome comum de uma herbácea vivaz, planta da família das gramíneas, espécie *Saccharum officinarum* L., originária da Ásia Meridional, é muito cultivada em regiões tropicais e subtropicais para obtenção do açúcar, do álcool e da aguardente, devido à sacarose contida em seu caule, formado por numerosos nós. Na Tabela 3.1, tem-se a composição média da cana-de-açúcar.

Acredita-se que a origem da cana-de-açúcar teve seu primeiro cultivo e descobertas de suas propriedades pelos povos das ilhas do Pacífico por volta do ano 20.000 a.C., planta que crescia espontaneamente, nas suas terras.

Os indianos foram os primeiros a utilizar o [suco](#) da cana para produzir o açúcar "bruto", por volta do ano 500 a.C. No entanto, foram os árabes os principais responsáveis pela expansão da cana-de-açúcar, no Mediterrâneo entre os séc. VI e IX. Somente no século XV, as primeiras mudas foram trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza, responsável pela instalação do primeiro engenho em São Vicente, no ano de 1533. Em seguida, muitos outros se proliferaram pela costa brasileira. O Nordeste, principalmente o litoral pernambucano e baiano.

Quanto à composição química da cana-de-açúcar tem-se em Lima et al. (2001) que 01 tonelada de cana-de-açúcar moída produz em média 850 litros de caldo, sendo que de 78 a 86% é água, e entre 10 e 20% sacarose e outras substâncias em menores quantidades.

Tabela 3.1 – Composição média da cana-de-açúcar

Composição	Tela (%)
Água	65-75
Açúcares	11-18
Fibras	8-14

Fonte: COPERSUCAR (2008)

Transformando-se na primeira grande cultura agrícola comercial do Brasil, continua sendo considerável fonte de riqueza para o país, sendo o Brasil o maior produtor mundial com a produção no ano de 2007 acima de 515 milhões de toneladas ano. Área plantada maior que 6,5 milhões de hectares (ha), com mais de 357 usinas em operação. Com uma produtividade de 76,845 Kg/ha conforme dados do IBGE (2008). Seguido pela Índia e Austrália. Além do açúcar, fornece também os álcoois utilizados como combustíveis nos automóveis, em substituição à gasolina e para adicionar a gasolina. Conforme dados da UNICA (2008), a safra 2007-2008 aproximadamente (45%) da produção brasileira de cana-de-açúcar transforma-se em açúcar e (55%) em álcool (anidro e hidratado).

Existem diferentes tipos de açúcares produzidos depende do modo de fabricação e de sua utilização, na lista variada, encontramos o açúcar cristal, o refinado, o de confeitaria, o mascavo, o *light* e o orgânico. A diferença entre eles se resume nas etapas do processo de produção.

Já a produção de álcool tem-se três grandes grupos de produtos, que conforme Pereira (2008 p.92), são: **álcoois neutros**, que são utilizados na fabricação de bebidas em geral, cosméticos e produtos farmacêuticos. É o mais puro álcool e não interfere em aromas e sabores; **álcool etílico hidratado carburante (AEHC)**, trata-se de uma mistura hidroalcoólica com no mínimo 92,6° GL, podendo chegar até 96° GL, (96% partes de álcool puro mais 4% água) usado para consumo direto como combustível em automóveis; e **álcool etílico anidro carburante (AEAC)**, apresentando no mínimo 99,3° GL, composto de 99,5% de álcool puro mais 0,5% água, adicionado a gasolina na proporção de 25% para formar combustível conhecido como “gasool” (gasolina brasileira aditivada com álcool anidro).

Conforme SEBRAE (2005, p.157), a Cana-de-açúcar é matéria prima para quase 100 produtos, embora seu mix de produção principal seja os produtos: açúcar e álcool.

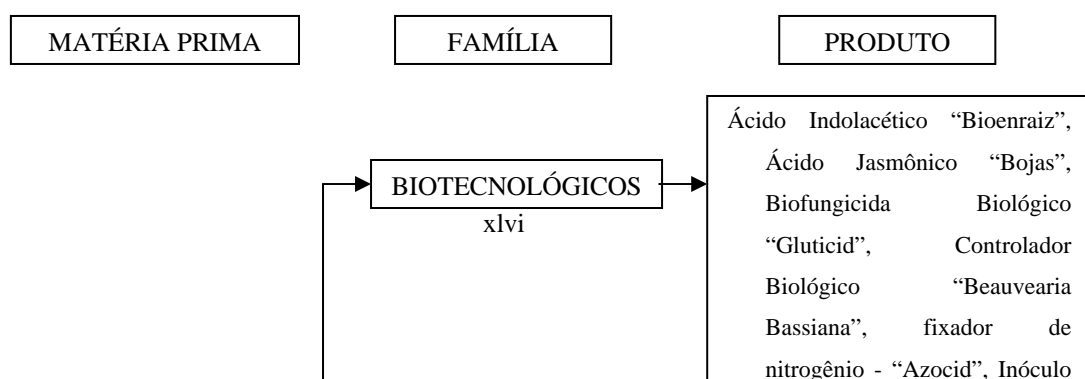
O aumento da demanda por álcool traz novas perspectivas para o SAG da Cana-de-açúcar que muda seu *mix* de produção, priorizando o álcool em detrimento do açúcar para uso da cana-de-açúcar, que tem expansão em sua área plantada. Este fato pode representar restrição para uso do melado em alternativas para produção de novos derivados da cana, significando, contudo, crescimento no volume de subprodutos como bagaço, vinhoto e torta de filtro, que deverão ter destinos para seu aproveitamento (SEBRAE, 2005, p.157).

Alguns dos sub-produtos da cana-de-açúcar possuem valor econômico expressivo, é necessário salientar que não se pode equiparar as possibilidades técnicas de um processo à sua viabilidade econômica. Contudo, segundo Szmrecsányi (2002 apud SEBRAE, 2005, p.159,160), o que se pode identificar são algumas principais possibilidades de diversificação que revertem com melhoria de qualidade de vida (aspectos ambientais) e redução de custos de produção no segmento industrial. Como é o caso do bagaço (co-produto) utilizado como combustível na geração de energia, no fabrico de papel – como pasta de celulose; o aproveitamento do melaço (da produção do açúcar), para indústria de fermento e o aproveitamento da vinhaça (da produção do álcool), utilizado como fertilizante.

Os produtos finais derivados da cana-de-açúcar para uso e comercialização ilustrado a seguir na figura 3.6 foram agrupados por famílias de processos, segmentos industriais de aplicações e das principais matérias-primas utilizadas.

A previsão é que a médio longo prazo a usina deverá deixar de ser apenas uma indústria extrativa para tornar-se indústria de transformação ampliando sua atuação na direção da indústria sucroquímica para uso das vantagens dos subprodutos e co-produtos da produção do açúcar, tendo ainda a vantagem de versatilidade de aplicações de produtos, biodegradabilidade e não-toxicidade Szmrecsányi (2002 apud SEBRAE, 2005, p. 160).

Essas vantagens, inicialmente de caráter sócio-político-ambiental, têm aos pouco ganho sustentação econômica, pelo crescente interesse internacional, principalmente dos países europeus, por produtos bio-tecnológicos em substituição aos produtos químicos derivados de petróleo e outras sínteses, além da compensação pela emissão de poluentes. (SEBRAE, 2005).



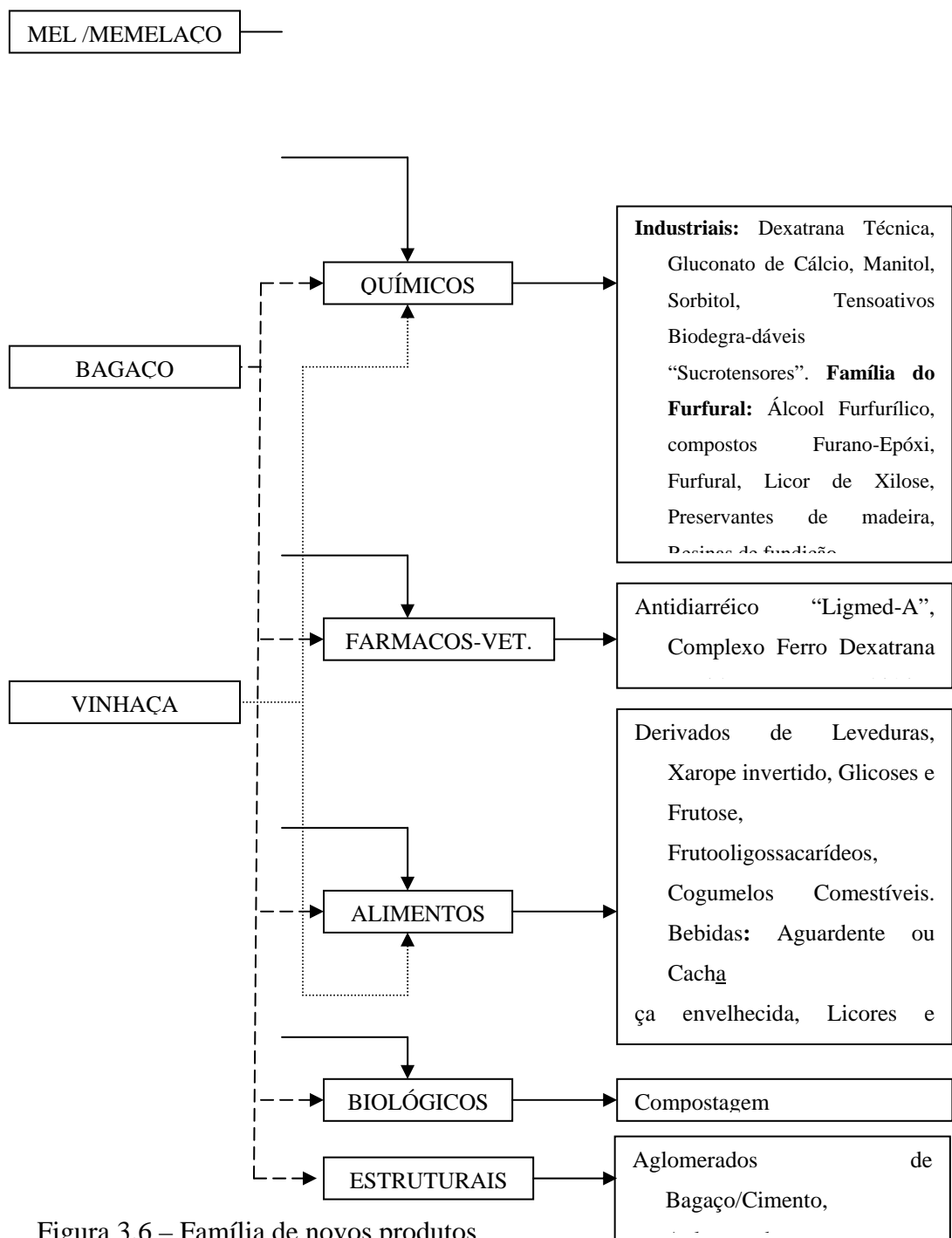


Figura 3.6 – Família de novos produtos  
Fonte: SEBRAE (2005)

### 3.6.1 Impactos Ambientais de usinas sucroalcooleira e sustentabilidade

A implantação de uma usina sucroalcooleira é responsável por vários impactos ambientais, que de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Transcrito a seguir, define impacto ambiental sendo:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I – a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- II – as atividades sociais e econômicas;
- III – a biota;
- IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – e a qualidade dos recursos ambientais.

Cabe ressaltar que o conceito de impacto ambiental abrange apenas os desdobramentos resultantes da ação humana sobre o meio ambiente, não considera as repercussões advindas de fenômenos naturais independente de sua importância e magnitude. Estes são tratados com efeito ambiental.

A agroindústria canavieira “usina” foi responsável por impactos ambientais, na eliminação das pequenas e médias empresas agrícolas, aumento do êxodo rural e nos próprios processos de colheita e produção no início do século XX.

Conforme Lanzotti (2000), vê-se que, atualmente do ponto de vista ambiental houve uma melhora relacionada à colheita, produção da cana-de-açúcar, à emissão de poluentes no ar devido ao uso de tecnologias. Utilizando ainda uma menor quantidade de herbicidas e pesticidas devido ao uso do controle biológico, diminuiu o uso dos fertilizantes com a reciclagem da vinhaça, matéria orgânica e torta de filtro. Em relação à qualidade do ar, a emissão de CO<sub>2</sub> é reduzida com a adoção de carros a álcool e o uso do bagaço para cogeração de eletricidade. A análise do ciclo de vida dos produtos, álcool e açúcar, na agroindústria canavieira estão ilustrados na tabela 3.2.

A quantidade de CO<sub>2</sub> que não é emitida, 12,7 x 10<sup>6</sup> t de Carbono, corresponde a aproximadamente 20% das emissões de CO<sub>2</sub> da emissão total de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis.

Tabela 3.2 – Emissões Líquidas de Carbono (CO<sub>2</sub>) da agroindústria canavieira no Brasil.



	<b>106 t de Carbono (equiv.) / ano</b>
Uso de combustíveis fósseis na agricultura	+ 1.28
Emissões de metano/outros (queima da cana)	+ 0.06
Emissões de N <sub>2</sub> O	+ 0.24
Substituição de gasolina por etanol	- 9.13
Substituição de óleo por bagaço (ind. de alimentos)	- 5.20
Contribuição líquida	- 12,74

Fonte: Moreira e Goldemberg (1999 apud LANZOTI 2000)

Percebe-se que a utilização dos veículos automotores com a implantação do Programa de Poluição do Ar em vigor desde 1986, tem minimizado os impactos totais das indústrias sucroalcooleiras, pois, há neste momento uma diminuição nas taxas de emissões de monóxido de carbono com a utilização de motores bi-combustíveis, (*Flex Fuel*).

[...] No ano de implantação, um veículo à gasolina emitia aproximadamente 22 gramas de monóxido de carbono por quilometro rodado e o movido a álcool 16 gramas. Em 1997 esta emissão diminuiu para 1,2 gramas nos carros movidos à gasolina e 0,9 nos movidos a álcool. A utilização do álcool combustível diminui também a quantidade de emissão de hidrocarbonetos. (LANZOTTI, 2000, p. 11)

Embora, o álcool tem a desvantagem de emitir mais aldeídos que a gasolina este causa menor impacto ambiental com relação à emissão de CO<sub>2</sub>.

Quanto à poluição de cursos d'água, degradação do solo e do lençol freático. O resíduo-vinhaça, segundo Barros (2008), tem ameaçado a fauna e a flora e por ser a vinhaça composta de material químico, ao ser lixiviado para o lençol freático em grandes quantidades é possível a poluição do lençol freático.

- a) Poluição dos Cursos d'água – A carga de DQO da vinhaça é cerca de 28 000 mg/l e essa descarga do resíduo-vinhaça nos cursos d'água, tem ameaçado a fauna e flora devido à diminuição do oxigênio dissolvido na água, dada a sua elevada DBO (Demanda Bioquímica de oxigênio), que chega a apresentar uma taxa entre 20.000 a 35.000 mg/l de vinhaça. O pH também apresenta-se ácido entre 4,0 a 4,5.
- b) Degradação do solo e lençol freático – A vinhaça é composta de material químico, que pode ser percolado e lixiado para o lençol freático. As pesquisas revelam que a dinâmica dos constituintes da vinhaça no solo interfere nos aspectos físicos e químicos e a possível poluição do lençol freático. Há um pequeno risco do potássio e do nitrato em poluir a água subterrânea devido à irrigação com vinhaça, visto que a lixiviação de íons abaixo da profundidade máxima de observação (1,20 m) das

unidades coletoras é pequena. Por outro lado, a ação do solo na redução da matéria orgânica é, de maneira geral, mais efetiva na camada superficial de 10 a 15 cm e, em decorrência da aplicação de vinhaça, de forma mais intensa, até a profundidade de 24 cm (BARROS, 2008).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, considerando que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos centros urbanos e que os veículos do ciclo Otto são fontes relevantes de emissão evaporativa de combustível. Considerando ainda, que a utilização de tecnologias automotivas adequadas, de eficácia comprovada, permite atender as necessidades de controle da poluição, economia de combustível e estabelecer novos padrões de emissão para os motores veiculares e veículos automotores nacionais e importados, leves e pesados.

Visando manter a redução dos níveis de emissão de poluentes – poluição do ar, e promover o desenvolvimento tecnológico nacional estabeleceu novas etapas para o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, em caráter nacional através da Resolução CONAMA Nº 315, de 29 out 2002, com metas a serem atingidas até 2009. Ilustra-se na tabela 3.3, a evolução de emissão dos veículos leves novos no Brasil desde 1980, incluindo as novas fases previstas na Resolução 315 / CONAMA, 2002.

Tabela 3.3 – Emissão dos veículos-leves novos<sup>3</sup> no Brasil

<b>ANO</b>	<b>CO (g/Km)</b>	<b>HC (g/Km)</b>	<b>NOX (g/Km)</b>	<b>RCHO<sup>4</sup> (g/Km)</b>	<b>EVAP.<sup>5</sup> (g/teste)<sup>6</sup></b>
89 – 91	24	2,1	2	-	6
92 – 96	24	2,1	2	0,15	6
92 – 93	12	1,2	1,4	0,15	6
MAR / 94	12	1,2	1,4	0,15	6
JAN / 97	2	0,3	0,6	0,03	6
MAI / 03	2	0,3	0,6	0,03	2
JAN / 05 (40%)	2	0,16 <sup>7</sup>	0,25	0,03	2

<sup>3</sup> Medição de acordo com a Norma NBR 6601 (FTP US-75) e Resoluções CONAMA 15/95 e 315/02.

<sup>4</sup> Apenas para veículos a Otto. Aldeídos totais de acordo com a Norma NBR 12026.

<sup>5</sup> Apenas para veículos do ciclo Otto, exceto a GNV

<sup>6</sup> Hidrocarbonetos não metano (NMHC).

JAN / 06 (70%)	2	ou	ou	0,03	2
JAN / 09	2	0,05	0,12	0,02	2

Fonte: Adaptado Resolução CONAMA (315/2002); CETESB (2003)

A EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária vem através de seus pesquisadores e, em parceria com várias instituições governamentais e não governamentais vem realizando pesquisas desde 1984, monitorando por satélite e trabalhando com a questão da avaliação e do monitoramento do impacto ambiental da cana-de-açúcar.

Várias metodologias foram desenvolvidas e aplicadas principalmente no Nordeste e no Sudeste brasileiro.

Segundo a EMBRAPA (1997) vê-se que os impactos ambientais das atividades agrícolas são geralmente tênues, bastante dependentes de fatores pouco controláveis (chuvas, temperaturas, ventos etc.), atingem grandes áreas de forma pouco precisa, freqüentemente crônica, pouco evidente, intermitente e de difícil quantificação (perda de solos, produção de gases, erosão genética, contaminação de águas subterrâneas com fertilizantes ou pesticidas etc.). Também atinge o nível sócio-econômico, empregos gerados, seguridade social, condições de trabalho, fatores sazonais, legislação específica, entre outros. Em muitos casos os piores impactos ambientais da agricultura são invisíveis aos olhos da população, dos consumidores e dos próprios agricultores, ao contrário do que ocorre com uma fábrica ou uma mineradora.

Tecnicamente conforme EMBRAPA (1997), entende-se como Impacto Ambiental a soma dos impactos ecológicos e dos impactos sócio-econômicos, ilustrado na figura 3.7. Muitas das vezes há uma tendência em reduzir, equivocadamente, o impacto de uma determinada atividade a uma ou outra dessas dimensões. Assim, o que se percebe é que o dano ecológico não justifica os ganhos econômicos ou sociais, outras vezes sim. Trata-se de questões muito complexas.

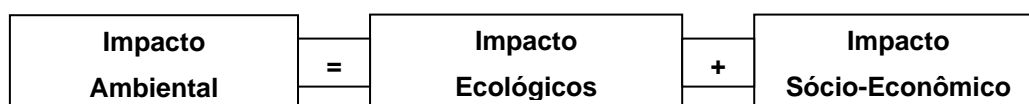


Figura 3.7 – Conceito Básico do Processo de Avaliação de Impacto Ambiental  
Fonte: EMBRAPA (1997)

<sup>7</sup> Hidrocarbonetos não metano (NMHC).

Quanto à AIA - Avaliações de Impacto Ambiental, das técnicas e tecnologias empregadas nos sistemas de produção de açúcar e álcool deve-se considerar e avaliar os três subsistemas simultaneamente, conforme ilustrado na figura 3.8.

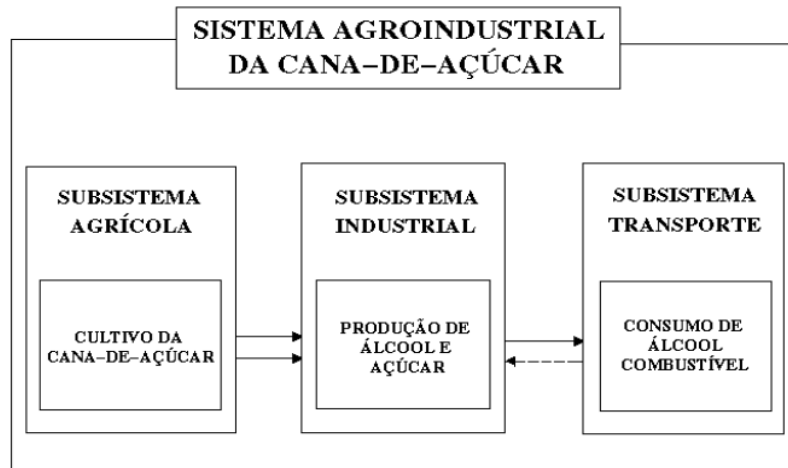


Figura 3.8 – Componentes do Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar  
Fonte: EMBRAPA (1997)

Assim, um quadro contendo o modelo o mais completo possível do sistema de produção da cana-de-açúcar e suas interferências ambientais, pode constituir toda uma base para a tomada de decisão em nível de planejamento ambiental, com o objetivo minimizar, mitigar os impactos ambientais deste processo produtivo.

[...] onde se insere, por exemplo, o caso da queimada da palha da cana-de-açúcar, três subsistemas foram profundamente alterados, através da implantação do Programa Pró-Álcool, em São Paulo e devem ser simultaneamente considerados: o do cultivo da cana (subsistema agrícola), o da sua transformação em açúcar e álcool (subsistema industrial) e enfim o subsistema de transportes. (EMBRAPA, 1997, p.9)

As conseqüências dessas mudanças sobre o meio ambiente e a sócio-economia das regiões atingidas direta ou indiretamente, apesar de sua magnitude e importância para o Brasil, são ainda desconhecidas ou insipientes.

Com o desenvolvimento Tecnológico e a conseqüente modernização dos equipamentos de produção algumas das interações existentes nesses subsistemas como a troca de gases com a atmosfera, ilustrada na figura 3.9, estão sendo estudadas parcialmente ou monitoradas por várias instituições: INPE, CETESB, NMA, ECOFORÇA, UNICAMP, CNPMA, entre outras.

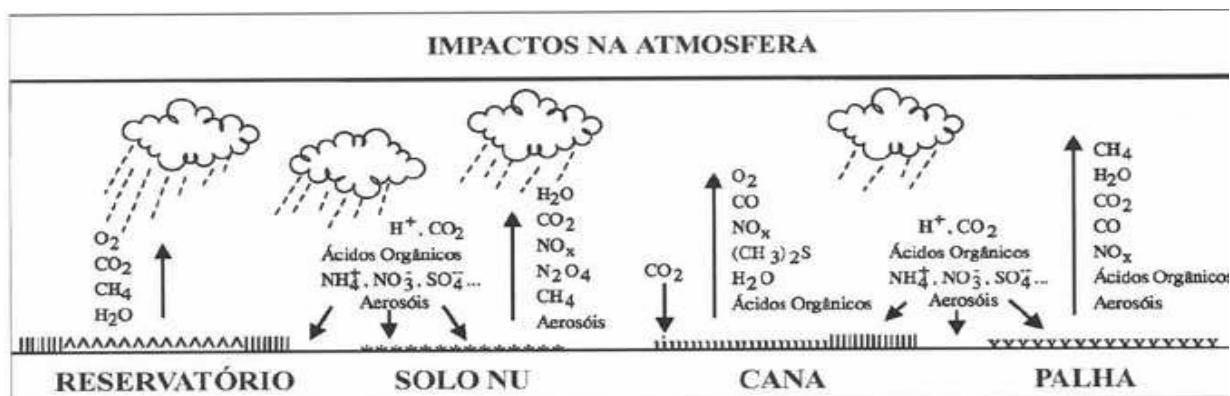


Figura: 3.9 – Elementos sobre trocas de gases em canaviais  
 Fonte: EMBRAPA (1997).

Essas interações variam no tempo com o desenvolvimento e a introdução de novas tecnologias (reaproveitamento do vinhoto, controle biológico da broca, colheita mecanizada de cana crua, entre outras); o espaço físico conforme os solos, o relevo, o clima e o uso das terras; e do aspecto legal.

Atualmente vê-se que uma das preocupações dos pesquisadores, empresários e o governo é com relação ao impacto: social e ambiental num projeto desta natureza. O cuidado em não repetir o sistema de produção adotado em outros estados, como foi o modelo adotado por São Paulo, com grandes usinas.

Nossa realidade é bem diferente em termos de clima, condições de solo, entre outras. Outra perspectiva é resguardar a inclusão social de agricultores familiares nesta nova alternativa, na geração de trabalho e renda. Neste contexto, o fator tecnologia entra como um fator de inclusão social de agricultores em novos empreendimentos no campo, promovendo ainda a geração de empregos indiretos.

Mitigação e adaptação técnicas que promovem um uso mais consciente do solo podem diminuir as emissões e ainda seqüestrar o carbono da atmosfera. Tais atitudes podem fazer com que a agricultura passe de grande emissora de gases de efeito estufa a um grande sumidouro de carbono. (EMBRAPA, 2008, p.74 e 75)

A preocupação com os impactos ambientais relacionados à atividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar cultivada no estado do Mato Grosso do Sul e a dimensão agrícola do desenvolvimento sustentável é um dos motivos da realização deste trabalho, uma vez que as atividades humanas em geral causam ou podem causar uma série de impactos ambientais, tanto no âmbito local, regional ou global. A avaliação constante destes impactos torna-se essencial para que se estabeleça a transição para o

desenvolvimento sustentável, com a utilização de metodologias, instrumentos e ferramentas adequadas e confiáveis, capazes de avaliar a sustentabilidade considerando seus vários componentes, representam, portanto, o grande desafio à comunidade científica.

Assim, conforme Altieri, 1993 (apud LANZOTTI, 2000) tem-se que qualquer estratégia adotada para atingir o desenvolvimento rural sustentável deve visar prioridades de desenvolvimento mais urgentes da região como a redução da miséria, abastecimento adequado de alimentos e auto-suficiência, conservação dos recursos naturais, autonomia das comunidades locais e participação efetiva dos pobres das áreas rurais no processo de desenvolvimento.

A definição de desenvolvimento sustentável apresentado em 1987, pelo Relatório “Nosso Futuro Comum” também conhecido como Relatório de Brundtland: “desenvolvimento sustentável é aquele capaz de atender as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender as suas próprias necessidades” (WCED, 1987) - the World Commission on Environment and Development. Este relatório suscita a necessidade de um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso em todo o planeta e, no longo prazo, ser alcançado pelos países em desenvolvimento e também pelos desenvolvidos. Nele, apontou-se a pobreza como uma das principais causas e um dos principais efeitos dos problemas ambientais do mundo, criticou o modelo adotado pelos países desenvolvidos, por ser insustentável e impossível de servir de modelo para países em desenvolvimento, sob pena de se exaurirem rapidamente os recursos naturais.

Muitos outros movimentos ambientalistas mundiais surgiram como: **O Relatório Meadows** – 1968 (Clube de Roma), cuja meta “impor limitações ao ritmo de crescimento econômico”; **A Conferência de Estocolmo – 1972** (Marco dos movimentos ambientalistas mundiais) Meta: “Uma única terra, um único povo”; **O Relatório Brundtland: O Nosso Futuro Comum – 1987** (ONU), já citado anteriormente sendo sua meta “A Sustentabilidade do Crescimento” com a diminuição das desigualdades sociais no mundo; **A Conferência do Rio de Janeiro (Rio/92 ou Eco/92) – 1992** - Meta: “Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável” Aprovação da **Agenda 21** – ações mais concretas para melhoria da qualidade de vida do planeta; **A Conferência de Kyoto – 1997** (Mudanças Climáticas) - Meta: Estabeleceram diretrizes a serem atingidas para a sustentabilidade, fixando taxas para diminuição de poluição dos principais países poluidores do planeta.

Para se alcançar esta meta seriam incentivados os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) e o comércio de Emissões. Este tratado entrou em Vigor em 16 de Fevereiro

de 2005, (ratificado por 160 nações que representam juntas 55% das emissões de gases de efeito estufa. Sem a participação dos EUA, responsável por 36,1 das emissões mundiais e da China).

Percebe-se que as preocupações ambientais persistem sendo uma necessidade, sobretudo, para este momento de grande avanço científico e tecnológico que a humanidade vem experimentando. As metodologias de análise de sustentabilidade devem considerar segundo Piorr, 2003 (apud PEREIRA, 2008) os sistemas a serem sustentados, ou seja, os ecossistemas, os sistemas necessários ao suporte da atividade humana, e as diversas comunidades do planeta. Considerando ainda, os seres humanos, as sociedades organizadas e economias, incluindo o componente intergerações, ou seja, deve considerar o fator tempo para a transição para a sustentabilidade.

### **3.6.2 Usinas sucroalcooleira no Brasil - Agroindústria Canavieira**

A cana-de-açúcar vem desempenhando ao longo da história papel de grande importância socioeconômica no Brasil. Durante o período colonial o açúcar foi o principal produto agrícola de exportação brasileiro. Muito embora o setor tenha passado por várias crises (ameaças) até os tempos atuais. O setor tem experimentado períodos de crescimento muito expressivos.

Segundo Vian (2003 apud PEREIRA, 2008) vê-se que o setor passou por quatro fases distintas. Na primeira fase a Coroa Portuguesa era sócia dos produtores na fundação do engenho e o açúcar era comercializado somente com a Metrópole, Portugal. Na segunda fase Portugal incentivou a produção do açúcar, mas impôs-lhe significativa limitação e taxou fortemente sua comercialização. Na terceira fase, após a independência o Estado brasileiro adotou uma política mais liberal deixando a atividade à iniciativa privada, tanto investimentos como produção e comercialização. Criando incentivos para a exportação e a modernização do complexo sucroalcooleiro. Na quarta fase, século XX, após a década de 30, o Estado passa a ser intervencionista adotando medidas de planejamento e controle da produção de açúcar. Em todas estas fases as políticas adotadas visavam garantir bons preços para os produtores, além do escoamento do produto brasileiro no mercado externo.

Finais do século XVIII ameaçavam a liderança do Nordeste brasileiro, grande produtor de açúcar, a concorrência do açúcar de beterraba europeu; do açúcar de cana-de-

açúcar das Antilhas e de Cuba. Simultaneamente, a lavoura canavieira reconquistou importância como atividade econômica em São Paulo, migrando do litoral para o interior, onde estavam as áreas de solos férteis de terra roxa.

Com a economia ainda focada no café no início do século XIX, a produção açucareira continuou crescendo até 1929, quando ocorre o “*big-crack* ou *crash*” da Bolsa de Nova York que abala o mercado mundial, atingindo fortemente a economia brasileira baseada na produção de café. Porém, a Cana-de-açúcar sofre o mesmo impacto. O Brasil governo de Getúlio Vargas, como parte do esforço de recuperação do mercado brasileiro criou em 1933, o então Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA).

O IAA tinha como objetivos e funções: regular o setor da agroindústria canavieira, além de controlar a produção de açúcar para manter os preços em um nível adequado protegendo o produto brasileiro no mercado mundial, incentivar a modernização e expansão da agroindústria canavieira, a comercialização dos produtos no mercado interno e a fomentar as exportações. Ainda, fomentar a fabricação de álcool para adição à gasolina, que ocorria desde 1931. Inicialmente o percentual de adição era de 5%. Este percentual tem sofrido alterações ao longo dos tempos de acordo com diretrizes políticas energéticas e em função dos preços do açúcar e do álcool no mercado externo. Hoje o percentual de adição é de 25%, em vigor desde 01 de julho de 2007, valor máximo permitido pela legislação.

O engenho de produção canavieira “Engenho, propriamente dito” compreendia várias edificações, onde cada uma delas destinava-se a uma fase do processamento da cana-de-açúcar. Casa da Moenda, local onde a cana era esmagada em cilindros movidos por roda-d’água ou por parrelhas de bois, deste esmagamento obtia-se o caldo da cana. Após esta fase os escravos transportavam o caldo para a casa das fonalhas, a fim de serem concentrados em grandes tachos de cobre e transferidos para as formas na Casa de Purgar, onde o açúcar cristalizava, a massa purificava era dividida em pedaços chamados pães-de-açúcar. Assim no mercado interno a comercialização do açúcar se dava na forma desses pães. Já para o mercado externo, no entanto, os pães eram quebrados, triturados e depois secos ao sol. Assim, o açúcar obtido seguia para os portos, acondicionado em caixas (COPERSUCAR, 2008).

A crise econômica de 1929, e a criação do IAA – Instituto do açúcar e do álcool com sistemas rígidos de cotas, que eram distribuídas entre as diferentes unidades produtoras. Com os preços e a produção rigidamente controlados, a única maneira de



manter o negócio lucrativo era reduzir os custos e aumentar a produtividade. Sendo praticamente inevitável que a produção viesse a se concentrar em grandes usinas, com capacidade de moer milhares de toneladas de cana por dia. O Engenho passa a Usina e a agroindústria desde então, vem passando por um constante processo de modernização, com o agrupamento de empresas, buscando maior rendimento das lavouras e barateamento dos custos (COPERSUCAR, 2008).

A criação do IAA é um marco da intervenção estatal no setor, que anteriormente já ocorria como respostas às crises de superprodução e que, a partir deste momento, passa a ser definitiva e permanente Vian (2003 apud PEREIRA 2008).

Em 14 de Novembro de 1975 o decreto nº 76.593O cria o Pró-Álcool (Programa Brasileiro de Álcool). Este programa foi idealizado pelo físico [José Walter Bautista Vidal](#) e pelo engenheiro e [Urbano Ernesto Stumpf](#) este último conhecido como o pai do [motor a álcool](#) entre outros. Formou-se em 1950 na primeira turma de Engenharia aeronáutica do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica).

O Programa Brasileiro de Álcool, com o objetivo de estimular a substituição da gasolina por álcool produzido a partir de cana e, assim, diminuir os impactos da crise do petróleo. Substituiu por [álcool etílico](#) a [gasolina](#), o que gerou aproximadamente 10 milhões de automóveis a gasolina a menos rodando no Brasil, diminuindo a dependência do país ao petróleo importado, promovendo a substituição em larga escala de gasolina por álcool e determinou a adição de álcool anidro à gasolina na proporção de até 25%. Incentivou ainda, a produção de álcool através do aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação do complexo industrial, incluindo a instalação de novas destilarias anexas às usinas ou autônomas e de unidades de armazenamento do álcool.

A decisão de produzir [etanol](#) a partir da [cana-de-açúcar](#) por via fermentativa foi devido a baixa nos preços do açúcar na época, a capacidade ociosa que o setor sucroalcooleiro apresentava e o Brasil tinha uma demanda de importação de 80% de petróleo. Foram testadas outras alternativas de fonte de matéria-prima, como por exemplo a mandioca e o sorgo sacarino, produzidos em pequenas propriedades rurais.

O programa com esta alternativa, fonte de matéria-prima, atenderia uma componente social, fixação do homem no campo ao mesmo tempo em que atingiria o seu objetivo principal, a autonomia energética brasileira. Neste momento o discurso e a força política dos usineiros com os argumentos da ociosidade das usinas, a alta produtividade agrícola da cana-de-açúcar e o curto prazo para a implantação do projeto, conseguiram que

a cana-de-açúcar fosse apresentada como matéria-prima principal do Programa Brasileiro de Álcool – Pró-Álcool.

Esse programa de incentivo à produção e uso do álcool como combustível em substituição à gasolina, alavancou o desenvolvimento de novas regiões produtoras como o Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em menos de cinco anos a produção de pouco mais de 300 milhões de litros ultrapassou a cifra de 11 bilhões de litros, caracterizando o Proálcool como o maior programa de energia renovável já estabelecido em termos mundiais, economizando mais de US\$ 30 bilhões em divisas.

A produção de álcool no Brasil no período de 1975 a 1976 foi de 600 milhões de litros; no período de 1979 a 1980 foi de 3,4 bilhões e de 1986 a 1987 chegou ao auge, com 12,3 bilhões de litros.

Conforme Pereira (2008), o IAA na primeira fase do pró-Álcool atrelou o preço do álcool ao do açúcar, 44 litros de álcool equivalendo a uma saca de 60 kg de açúcar, e disponibilizou financiamentos para a instalação de destilarias a juros bastante vantajosos. Em 1978 surgiram os primeiros carros movidos exclusivamente a álcool. Como conseqüência, a área plantada com cana-de-açúcar e o rendimento médio por hectare aumentaram continuamente, conforme apresentado na Figura 3.10.

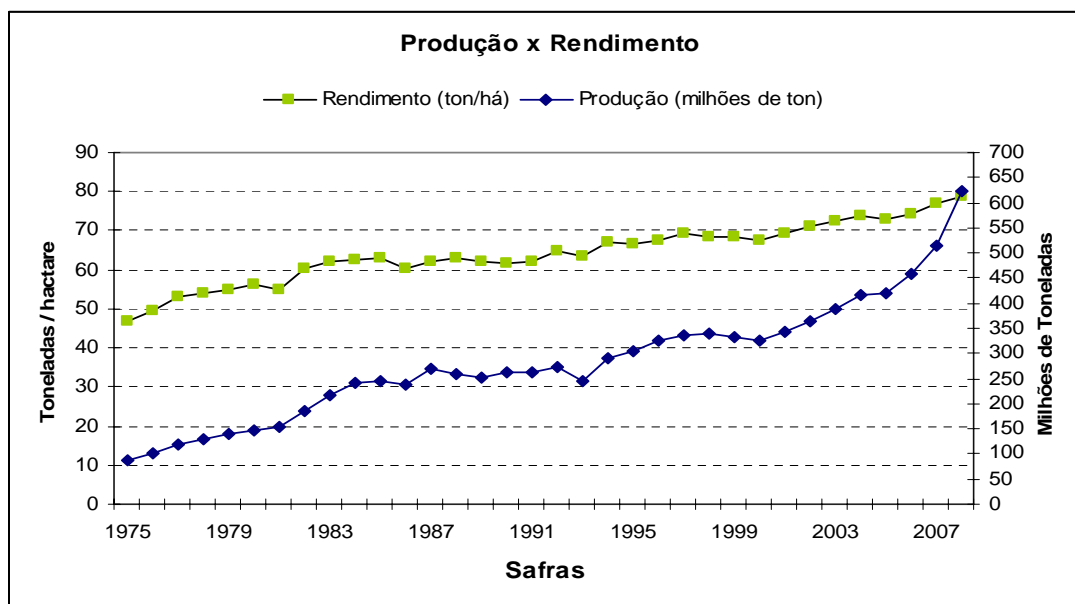


Figura 3.10 – Evolução da área plantada, produção e rendimento da cana-de-açúcar.

Fonte: MAPA (2008).

A recuperação dos preços do açúcar no mercado internacional, juntamente com a estagnação da produção no final da década de 90. Associada a outros fatores como: a reversão do preço do petróleo, que sofreu forte queda a partir de 1985; incertezas quanto à política governamental para o setor e o aumento da produção de petróleo nacional. Favorecem ao desabastecimento de álcool combustível no País.

Final dos anos oitenta o Brasil importou metanol para garantir o suprimento do mercado interno, mesmo assim a maior parte dos usuários de carro a álcool no País, foram afetado com a escassez do álcool. O que gerou uma grande insegurança aos consumidores destes veículos, o que resultou a queda pela procura, produção e abalou o Pró-Álcool (Programa Brasileiro de Álcool) – (PEREIRA, 2008).

Uma nova época surgiu, nos anos 90, para o setor sucroalcooleiro no Brasil, o setor foi gradualmente desregulamentado, houve o fim da tutela do Estado, o IAA foi extinto e o controle e planejamento do setor passou ao Conselho Interministerial do Álcool. Em consequência, o governo deixou de definir o preço da cana-de-açúcar, do açúcar e do álcool e gradualmente ocorreu à flexibilização dos preços primeiro do álcool anidro posteriormente a total liberação do preço do álcool hidratado e da cana-de-açúcar no ano de 1999.

Tem-se em Moreira e Goldemberg (1999); Vian (2003); Goldemberg et al. (2004), (apud PEREIRA, 2008) que este período foi caracterizado por grandes embates entre os usineiros, cada vez mais organizados e cartelizados, e o governo. O preço do álcool combustível sofreu grande variação de valor decorrente de superprodução e posterior diminuição de fornecimento praticado pelos usineiros. Sem o protecionismo do Estado e os preços de venda próximo aos preços de custos de produção os usineiros são forçados a dar um salto em termos de produtividade para garantir sua competitividade.

Conforme Vian (2003); Macedo (2007) (apud PEREIRA, 2008). Vê-se que devido às pesquisas incentivadas pelo Pró-Álcool, várias invenções tecnológicas foram introduzidas, tanto na etapa agrícola – utilização de novas variedades de canas, controle biológico, otimização das operações de corte, carregamento e transporte da cana e mecanização da colheita, bem como na etapa industrial, através do uso integral dos subprodutos na geração de energia e na fertilização da lavoura, melhora na tecnologia de extração, fermentação e da automação industrial. Permitindo, uma evolução do rendimento agrícola e industrial pelo setor sucroalcooleiro depois do Pró-Álcool. Ilustra-se na figura 3.11 a evolução da produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar no período de

1975 a 2007, dados obtidos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2008).

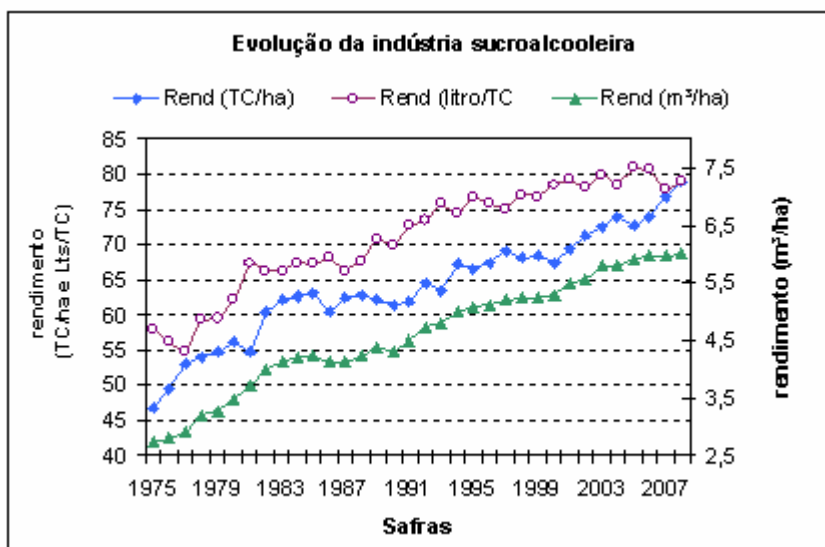


Figura 3.11 – Evolução da produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar

Atualmente, o cenário é outro. A produção de álcool tem tido vários incrementos e grande possibilidade uma vez que o mundo se conscientizou do esgotamento das reservas de petróleo, e há vários fatores que influenciam este dinamismo do setor sucroalcooleiro como: a continuada demanda mundial de energia; o impacto da poluição causada pela queima de combustível fóssil; o avanço profissionalizante dos dirigentes; negociações de contratos a longo prazo; a demanda crescente interna carros de tecnologias *Flex*; preços do petróleo; aceitação internacional por combustíveis renováveis e o protocolo de Quioto.

Os números retratam este dinamismo do setor, com produção total na safra 2007/2008 de 486,991 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 30,537 milhões de toneladas de açúcar e 22,132 milhões de m³ de álcool. Dados obtidos do Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA, 2008).

Conforme Farina e Zylbersztajn (1998); BNDS (2003) & Vian (2003) (apud PEREIRA, 2008), tem-se que o Brasil é pioneiro na produção e uso de etanol combustível em larga escala, hoje é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus produtos e também líder nos setores relacionados à sua produção como implementos agrícolas, equipamentos industriais, tecnologia de produção e motores automotivos.

Embora a região Nordeste brasileira tenha sido a principal produtora de cana-de-açúcar do País desde o período colonial até meados do século XX, após várias tentativas do governo em defesa do latifúndio canavieiro do nordeste, com a finalidade política de

impedir a expansão desta lavoura para o resto do País. Naquela época havia uma espécie de acordo de cavalheiros entre o Norte, que não plantava café, e o Sul, que não cultivava em larga escala nem o açúcar nem o algodão. O Estado de São Paulo rompeu esse acordo, diversificando a sua economia após a crise de 1929. Hoje São Paulo é líder na produção brasileira de cana-de-açúcar do País, desde 1951/1952.

A grande extensão do território brasileiro aliado á características outras propícias ao cultivo desta lavoura à safra brasileira é quase que ininterrupta sendo que a safra da região Norte / Nordeste se dá de novembro a abril, e na região Centro / Sul se dá de abril / maio a novembro. Na Figura 3.12, tem-se a localização das usinas produtoras e açúcar e álcool no Brasil.



Figura 3.12 – Localização das usinas sucroalcooleira no Brasil.  
Fonte: Gardini (2007)

Percebe-se que a localização das usinas sucroalcooleira está concentrada no litoral dos estados do Nordeste, no Estado de São Paulo e na região norte do Estado do Paraná, porém atualmente há a expansão da cana para outras regiões, notadamente para os estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul. Expansão que pode afetar biomas importantes, como o Pantanal e a floresta amazônica. Gardini (2007).

O setor sucroalcooleiro segundo dados do DIEESE (2007) movimentou cerca de R\$ 40 bilhões no ano correspondendo à aproximadamente 2,35% do PIB nacional e gerou ao redor de 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos, além de incluir mais de 70.000 agricultores.

O Estado de Mato Grosso do Sul vem se inserindo neste mercado, correspondendo gradativamente a um percentual cada vez maior da produção agrícola do estado. Na safra 1995/1996 o estado produziu 3.697.018 toneladas de cana moída provenientes de 55.603 hectares cultivados, produzindo 135.190 toneladas de açúcar e 292.183 m<sup>3</sup> de álcool (Anidro e Hidratado); safra 2001/2002 a produção foi de 7.798.913 toneladas de cana moída de 112.312 hectares de cultivo. Sendo produzidos: 327.854 toneladas de açúcar e 396.521 m<sup>3</sup> de álcool (Anidro e Hidratado).

Percebe-se que durante 6 anos a safra dobrou de valor. Na safra 2007/2008 seis anos decorridos a produção de cana moída foi de 14.869.063 toneladas em uma área cultivada de aproximadamente 184.200 hectares, 11 usinas instaladas e em operação. Sendo produzidos: 616.196 toneladas de açúcar e 876.862 m<sup>3</sup> de álcool (Anidro e Hidratado). Os dados relativos as safras mencionadas foram obtidos no acompanhamento da produção sucroalcooleira (MAPA, 2008).

O Estado de Mato Grosso do Sul através Programa de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro<sup>8</sup> visa o aumento da área plantada, buscando propiciar condições de competitividade para a produção e geração de emprego e renda. A meta pretendida a ser atingida de acordo com o programa para a safra 2012 é de 51.000.000 toneladas com perspectiva de cultivo de 700.000 hectares (SEPROTUR, 2008), e ainda, a instalação e operação de mais 32 usinas sucroalcooleiras em todo o Estado, das quais algumas já estão em fase de Audiência Pública; Licença Prévia; Licença de instalação e Licença de Operação. Conforme ilustração figura 3.13, tem-se a distribuição das 11 usinas sucroalcooleiras no Estado de Mato Grosso do Sul cadastradas no Departamento da Cana-de-Açúcar e Agroenergia do (MAPA, 2008) até 11 julho 2008, incluindo as unidades em fase de instalação e implantação.

As exportações dos principais produtos da cana-de-açúcar (álcool e açúcar) dependem dos preços tanto do mercado interno como do externo que, por sua vez,

---

<sup>8</sup> O programa é coordenado pela SEPROTUR, com apoio da Câmara Setorial do Setor Sucroalcooleiro.



em um horizonte relativamente curto de tempo, como ilustrado no quadro 3.2 a seguir, vê-se que em sua maioria estes programas utilizam o álcool com propósitos sócio-econômicos e ambientais.

[...] o álcool com objetivo de diminuir a dependência dos derivados de petróleo, tornar suas matrizes energéticas mais limpas, equilibrar os preços da matéria-prima de acordo com o custo de oportunidade do álcool ou administrar políticas de geração de renda (principalmente países em desenvolvimento), entre outros. (CABRINI e MARJOTTA-MAISTRO, 2007, p.2)

Conforme BNDES (2003); PETROBRÁS, Torquato & Perez (2006 apud PEREIRA, 2008, p.100), tem-se que tais políticas energéticas devem resultar em aumento da procura e consumo de álcool combustível. Estima-se ainda que em 2010 o Brasil estará produzindo ao redor de 27 bilhões de litros, sendo que 18% desta produção deverá ser destinada à exportação.

Quadro 3.2 – Programas de álcool no mundo

País	Programa
Brasil	Álcool anidro: mistura de 20 a 25% na gasolina; incentivo fiscal na aquisição de veículos movidos a álcool (exclusivamente ou <i>flex fuel</i> )
Estados Unidos	Meta de uso de 28,4 milhões de litros/ano até 2012; incentivo fiscal através do crédito de US\$0,52/galão para o álcool.
Japão	E3 <sup>9</sup> facultativo; meta de E10 até 2010
União Européia	Meta de 12% de fontes renováveis até 2010, com 5,75% no setor de transportes; foco no biodiesel (75% da produção);
Suécia	Incentivo fiscal para a construção de novas plantas; venda de carros <i>Flex fuel</i>
Grã Bretanha	Incentivo para a produção de álcool de US\$0,36/litro
Canadá	Meta de 35% dos derivados de petróleo contendo uma mistura de E10 até 2010
Índia	Adoção de E5 nos estados produtores de açúcar
China	Estudo de implantação do E10 com a sua adoção em algumas províncias
Tailândia	Meta de adoção de E10 em 2007; venda de carros <i>flex fuel</i>
América Central	Ampliação da produção e exportação para os EUA através do CBI1
América do Sul	E10 (Peru, Colômbia e Venezuela) e E7 (Paraguai)
Argentina	Exigência de utilização de mistura de 5% na gasolina nos
Austrália	Adoção facultativa de uma mistura de até 10% de álcool

Fonte: O'Connell et al. (2005); RFA; Cabrini e Marjotta-Maistro (2007) (apud ANP, 2007).

<sup>9</sup> Os números se referem ao teor de álcool nas misturas com gasolina.



Para o Estado de Mato Grosso do Sul o cenário atual também é favorável. Percebe-se nos últimos anos um crescimento significativo do cultivo da cana, este crescimento está ocorrendo principalmente na região sul do Estado, em terras antes destinadas à pecuária e em áreas de pastagens degradadas. Os principais municípios produtores e suas respectivas usinas (nome fantasia e razão social) são:

- Aparecida do Taboado, Alcoolvale – Alcoolvale S/A - Álcool e Açúcar;
- Angélica, Angélica – Angélica Agroenergia Ltda;
- Sidrolândia, CBAA - Sidrolândia – Companhia Brasileira de Açúcar e Álcool;
- Brasilândia, CBAA-Debrasa – Companhia Brasileira de Açúcar e Álcool;
- Iguatemi, Centro Oeste Iguatemi – Destilaria Centro Oeste Iguatemi Ltda;
- Rio Brilhante, Eldorado – Usina Eldorado Ltda;
- Rio Brilhante, LDC - Unidade Passa Tempo – LDC Bioenergia S/A, 02 UNID.;
- Maracaju, LDC Unidade Maracaju – LDC Bioenergia S/A;
- Nova Alvorada do Sul, Safi – Safi Brasil Energia Ltda;
- Nova Andradina, Santa Helena – Energética Santa Helena Ltda;
- Sonora, Sonora Estância – Companhia Agrícola Sonora Estância;
- Naviraí, Usinavi – Usina Naviraí.

A presente pesquisa focará o estudo do ciclo de vida na cadeia de álcool hidratado carburante e açúcar devido a dois fatores principais: a) a inserção do estado do Mato Grosso do Sul neste mercado, com incremento da produção em aproximadamente 10 vezes a safra 2007 até 2012 (grande importância na matriz energética nacional); b) crescente demanda internacional devido aos benefícios ambientais decorrentes da utilização do álcool hidratado como combustível carburante em substituição aos combustíveis fósseis.

### **3.6.3 Cadeia produtiva do Álcool combustível e do açúcar refinado**

A cadeia produtiva do álcool hidratado e do açúcar refinado, objetos deste estudo vêm apresentando aumento das exportações para os países desenvolvidos, principalmente do álcool hidratado, devido ao reconhecimento por estes países que este combustível é mais limpo ambientalmente em relação aos combustíveis fósseis.

O Estado de Mato Grosso do Sul produziu na safra 2007/2008, conforme dados disponibilizados pelo MAPA (2008): 616.196 toneladas de açúcar; 662.652 m<sup>3</sup> de álcool hidratado e 214.210 m<sup>3</sup> de álcool anidro, totalizando 876.862 m<sup>3</sup> de álcool. Assim, decidiu-se estudar o ciclo de vida destes produtos: álcool (hidratado + anidro) e açúcar, limitando-se as etapas da produção agrícola, transporte da propriedade agrícola até a indústria, processamento do álcool, transporte e Armazenamento nos centros distribuidores. Embora se sabe que os produtos vão além das fronteiras do nosso País.

A descrição do setor sucroalcooleiro segundo a metodologia aplicada pelo Ministério de Minas e Energia para tratar os dados do setor sucroalcooleiro para o Balanço Energético Nacional (MME, 1988, apud ANP, 2007), vê-se que este setor pode ser caracterizado, basicamente por três tipos distintos de usinas: as usinas de açúcar sem destilaria anexa, ilustrada na figura 3.14, as usinas de açúcar com destilarias anexas, ilustrada na figura 3.15, e as destilarias autônomas, conforme ilustração na figura 3.16, conforme esta descrição o estudo em questão abordará as usinas de açúcar com destilarias anexas.

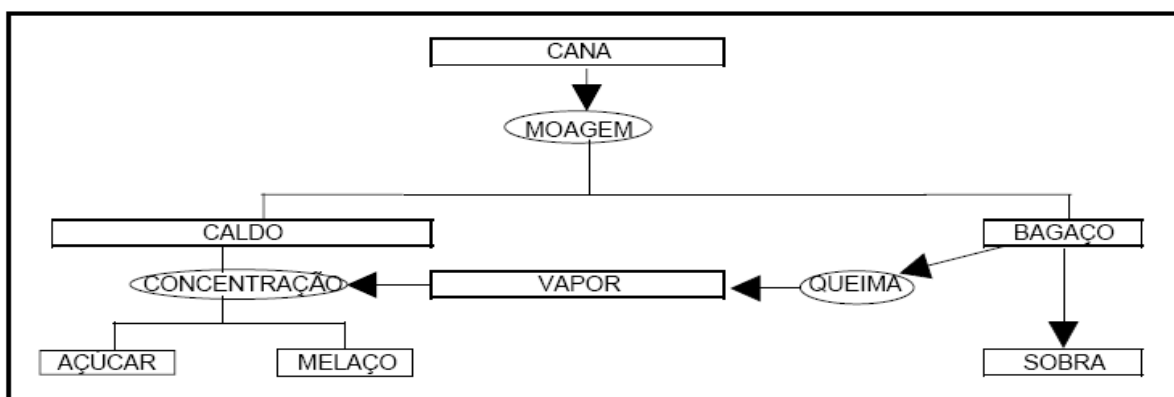


Figura: 3.14 – Processo produtivo nas Usinas de Açúcar sem Destilarias anexas

Fonte: Cecchi & Freitas (1998 apud ANP, 2007)

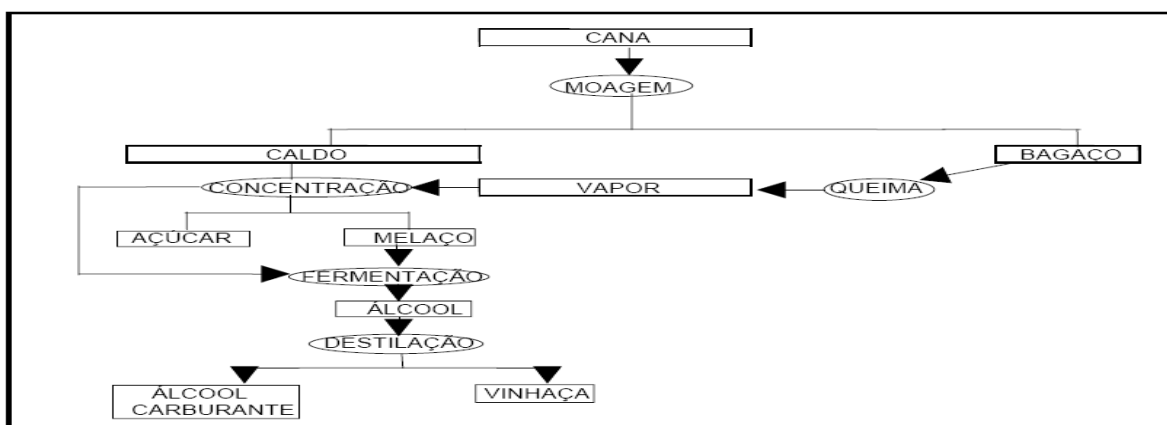


Figura: 3.15 – Processo produtivo nas Usinas de Açúcar com Destilarias anexas

Fonte: Cecchi & Freitas (1998 apud ANP, 2007)

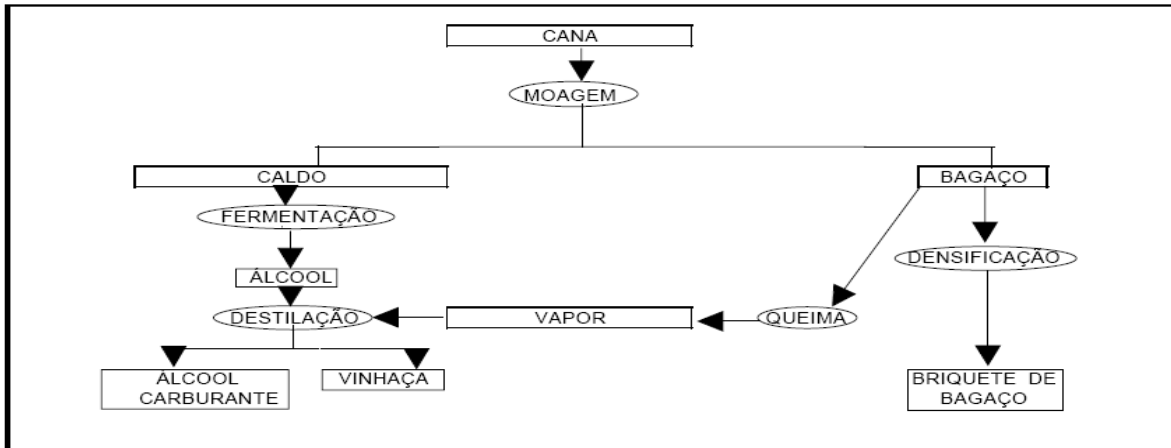


Figura: 3.16 – Processo produtivo nas Destilarias Autônomas

Fonte: Cecchi & Freitas (1998 apud ANP, 2007)

A produção de cana-de-açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul ocupa hoje aproximadamente 184 mil hectares empregando no seu plantio mudas, uso intensivo de insumos, equipamentos e energias (combustíveis). O ciclo de produção é de 5 a 7 anos, incluindo as operações de: preparo do solo; plantio (manual ou mecanizado); fertilização / fertirrigação ou adição de fertilizantes químicos e de subprodutos das próprias usinas sucroalcooleira entre estes se destaca (vinhaça, torta de filtro); controle de pragas com a aplicação de agrotóxicos e controles biológicos; colheita (manual / mecanizada) hoje 70% da colheita no estado é manual. A proposta deste trabalho com relação a esta definição é de que todas as informações necessárias para a execução de ACV sejam agregadas dentro de fronteiras pré-determinadas.

Caracteriza-se com a figura 3.17 o diagrama básico de uma fazenda produtora de cana-de-açúcar ficando definido como o objetivo e escopo para Análise do Ciclo de Vida desta etapa de produção da cana-de-açúcar. Os processos do sistema de produtos a serem considerados são representados, de forma simplificada dentro dos limites da fronteiras pré-estabelecidas.

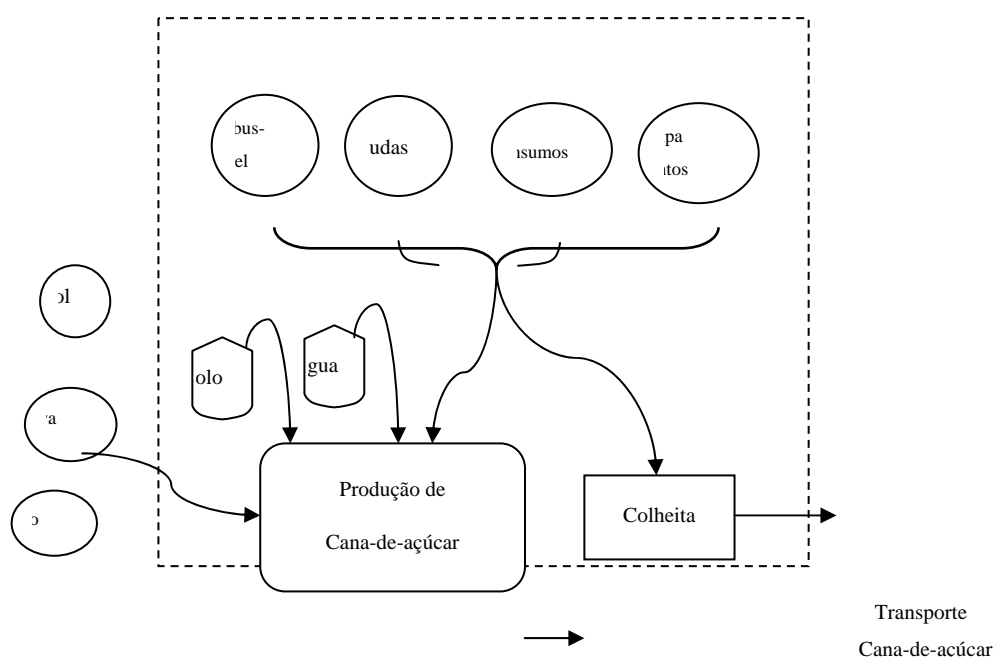


Figura 3.17 – Diagrama da etapa agrícola da produção da cana-de-açúcar

O Plantio da cana-de-açúcar pode ser feito manual ou mecanicamente. Nos plantios em áreas menores normalmente utiliza-se plantio manual. O sistema de plantio mais utilizado é o sulcamento com profundidades entre 20 a 40 cm de profundidade, de acordo com o tipo de solo, os sulcos são abertos efetuando-se em seguida, a distribuição e incorporação do adubo (orgânico e/ou químico) no fundo do sulco. Após esta etapa distribuem-se os toletes que dependendo da variedade e do seu desenvolvimento vegetativo, corresponde a um gasto de 7-10 toneladas por hectare.

A correção do solo muitas das vezes é necessária – Calagem: a quantidade de calcário a ser aplicada na área através do método de elevação da saturação de bases ( $V_2$ ), admite-se que a faixa de menor risco para a cultura está entre 60%. O período mais indicado para aplicação do calcário vai desde o último corte da cana, durante a reforma do canal, até antes da última gradagem de preparo do terreno.

Quanto à quantificação de adubação para a cana de açúcar há a necessidade de considerar duas situações distintas, adubação para cana-planta e para soqueiras, sendo que, em ambas, será determinada pela análise do solo. Sendo utilizado os resíduos da Agroindústria Canavieira.

Atualmente há uma tendência em substituir a adubação química das socas pela aplicação de vinhaça, cuja quantidade por hectare esta na dependência da composição química da vinhaça e da necessidade da lavoura em nutrientes.

Os sistemas básicos de aplicação são por infiltração, por veículos e aspersão, sendo que cada sistema apresenta modificações. Há ainda o controle de plantas daninhas que pode ser realizado através de capina manual, cultivo mecânico ou uso de herbicidas. Sendo que o período crítico da cultura que são primeiros 90 dias de idade o controle mais eficiente das plantas daninhas é o químico, através da aplicação de herbicidas.

A colheita é uma das etapas importantes da fase de produção agrícola da cana-de-açúcar. Pode ser manual, utilizando o emprego de mão-de-obra muito intensivamente, ou mecanizada. Quando utiliza a colheita manual, tradicionalmente faz-se a queima do canavial com a finalidade e propósito de facilitar ao máximo esta operação, aumentando o rendimento do corte e evitando os problemas com animais peçonhentos. No entanto, tal procedimento resulta em liberação de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.

A adoção de colheita mecanizada elimina a necessidade da queima, aumenta o rendimento da colheita, porém resulta em grande diminuição do uso de mão-de-obra causando o desemprego. Em muitos locais de colheita devido à declividade do terreno não é possível à colheita mecanizada, seu uso, portanto, fica limitado a regiões com poucas declividades. Assim, alguns benefícios da colheita da cana crua (mecanizada) são: aumento da cobertura vegetal do solo, diminuindo a erosão e aumentando a infiltração de água; rendimento em toneladas colhidas / horas (FURLANI NETO et al. 1997 apud PEREIRA, 2008, p. 102).

O transporte da cana (pesagem, descarregamento e estocagem) até a usina é do tipo rodoviário, com o emprego de caminhões que carregam cana inteira (colheita manual) ou picada em toletes de 20 cm a 25 cm (colheita mecânica). Os tipos mais usados são: Romeu e Julieta, caminhão plataforma acoplado a um reboque com capacidade de 25 toneladas; treminhão, caminhão plataforma acoplado a dois reboques com capacidade de 35 toneladas; e Rodotrem, formado por um cavalo mecânico, um semi-reboque e um reboque, com capacidade 65 toneladas. Os caminhões são pesados antes e após o descarregamento, obtendo-se o peso real da cana pela diferença entre as duas medidas. Algumas cargas são aleatoriamente selecionadas e amostradas, para posterior determinação, em laboratório, do teor de sacarose na matéria-prima. O objetivo da pesagem é possibilitar o controle agrícola,

o pagamento do transporte, o controle de moagem, o cálculo do rendimento industrial e, juntamente com o teor de sacarose na cana, efetuar o pagamento da mesma.

Conforme, Farina & Zylbersztajn (1998) a distância entre a unidade produtora e a usina não, em geral, é superior a 50 km sendo em média 40 km.

As operações industriais que acontecem na usina foram agrupadas em três subgrupos: extração do caldo, produção de álcool, produção do açúcar. Para a realização do presente estudo são consideradas usinas de açúcar com destilaria anexa, ou seja, que processa a cana para produção de álcool e açúcar. Os subprodutos da etapa industrial são reciclados pela etapa agrícola, através da fertilização da lavoura.

O primeiro sub-sistema da usina – Moagem a primeira etapa do processamento para a extração do caldo, conforme ilustrado na figura 3.18, tem-se o recebimento, quando são coletadas amostras para a análise de ATR<sup>10</sup>, que determinará o preço a ser pago pela cana. Pesagem e descarregamento dos caminhões, lavagem e a extração do caldo propriamente dito, composta de desintegração, desfibração e esmagamento.

O primeiro equipamento - a mesa alimentadora - recebe as cargas de cana do estoque, ou diretamente dos caminhões, transferindo-as a uma esteira metálica que conduz a cana até as moendas, passando pelo sistema de preparo. A lavagem - efetuada sobre as mesas alimentadoras - visa à retirada de matérias estranhas como terra, areia, etc., com a finalidade de obtenção de um caldo de melhor qualidade e aumento da vida útil dos equipamentos pela redução do desgaste. Esta lavagem nunca é feita na cana picada, pois isto provocaria um arraste muito grande de sacarose pela água. Os produtos desta etapa são: o caldo misto, o bagaço, água suja, argila, e resíduos que retornam ao campo para a fertilização (PEREIRA, 2008); (COPERSUCAR, 2008).

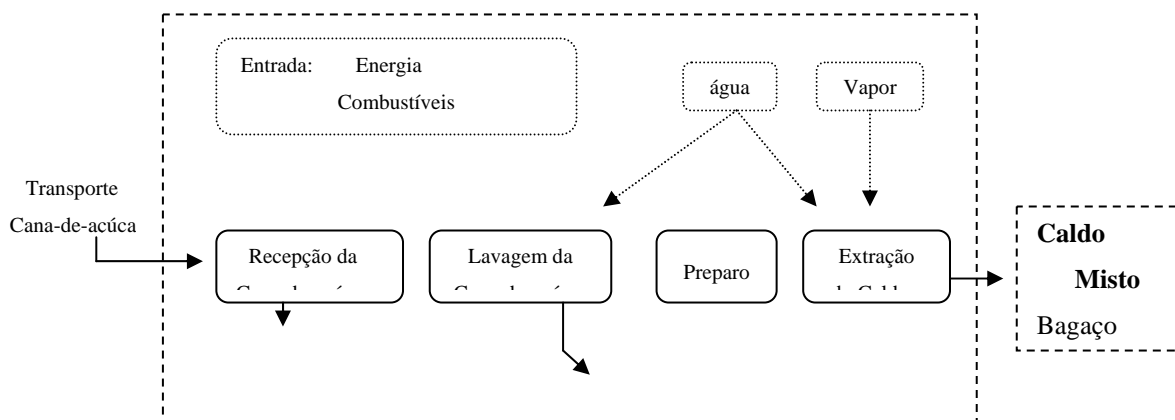


Figura 3.18 – Recepção da cana e extração do caldo.

<sup>10</sup> Açúcar Total Recuperável

O segundo sub-sistema da usina sucroalcooleira é o da produção de açúcar, conforme apresentado na figura 3.19, sendo este composto pelas seguintes fases ou etapas: cozimento; cristalização; centrifugação do açúcar; secagem; ensaque e pesagem do açúcar; e armazenamento do açúcar.

Na fase de cozimento são utilizados equipamentos denominados cozedores ou tachos, semelhantes às caixas dos evaporadores, que trabalham individualmente sob vácuo e de forma descontínua. A evaporação da água dá origem a uma mistura de cristais envolvidos em mel (solução açucarada) que recebe o nome de massa cozida.

A concentração desta massa cozida é de aproximadamente 93° - 95° Brix e a sua temperatura, ao ser descarregada, é de 65° - 70°C. Será trabalhado com os sistemas de duas ou três massas cozidas.

Na segunda fase ocorre à cristalização a massa cozida é descarregada dos cozedores nos chamados cristalizadores - tanques em forma de U, dotados de agitadores - onde irá ocorrer o resfriamento lento, geralmente com auxílio de água.

Esta operação visa recuperar parte da sacarose que ainda se achava dissolvida no mel, pois pelo resfriamento haverá deposição da sacarose nos cristais existentes, aumentando, inclusive, o tamanho dos mesmos.

Terceira fase centrifugação do açúcar dos cristalizadores, a massa cozida resfriada segue para o setor de centrifugação e é descarregada nas centrífugas.

A ação da força centrífuga faz com que o mel atravesse as perfurações da tela do cesto, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de sacarose. O processo se completa pela lavagem do açúcar com água e vapor, ainda no interior do cesto. Ainda, nesta fase, o mel removido é coletado em um tanque e retorna aos cozedores para recuperação do açúcar dissolvido ainda presente, até que se atinja um maior esgotamento do mesmo. A partir deste ponto, o mel passa a ser denominado mel final ou melaço e é enviado para a fabricação de álcool.

O açúcar descarregado das centrífugas apresenta alto teor de umidade (0,5% a 2%), bem como temperatura elevada (65-95°C), devido à lavagem com vapor.

Na quarta fase do processo de produção de açúcar ocorre o resfriamento e a secagem do açúcar que serão realizados em um secador, um tambor metálico através do qual passa, em contracorrente, um fluxo de ar succionado por um exaustor. Ao deixar o secador, com uma temperatura entre 35° e 40°C e umidades na faixa de 0,03% a 0,04%, o

açúcar está pronto para ser enviado ao ensaque. O ar que passa pelo secador arrasta consigo uma pequena quantidade de pó de açúcar, sendo, portanto necessária à lavagem deste ar para recuperação do açúcar arrastado, retornando-o posteriormente ao processo.

Finalizando tem-se a quinta fase do processo inclui o ensaque, a pesagem e o armazenamento. Do secador, o açúcar será recolhido a uma moega com fundo afunilado, que o despeja de forma descontínua, diretamente no saco localizado em cima de uma balança, realizando, portanto, a operação de ensaque e pesagem. Máquinas industriais de costura realizam o fechamento do saco, que está pronto para a armazenagem. O açúcar será armazenado em sacos de 50kg e em locais previamente determinados, facilitando o controle de qualidade.

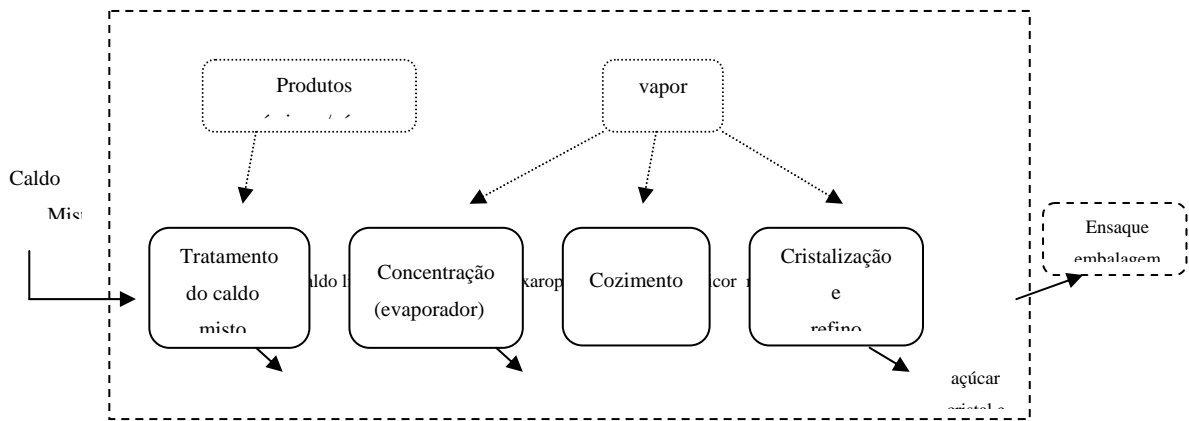
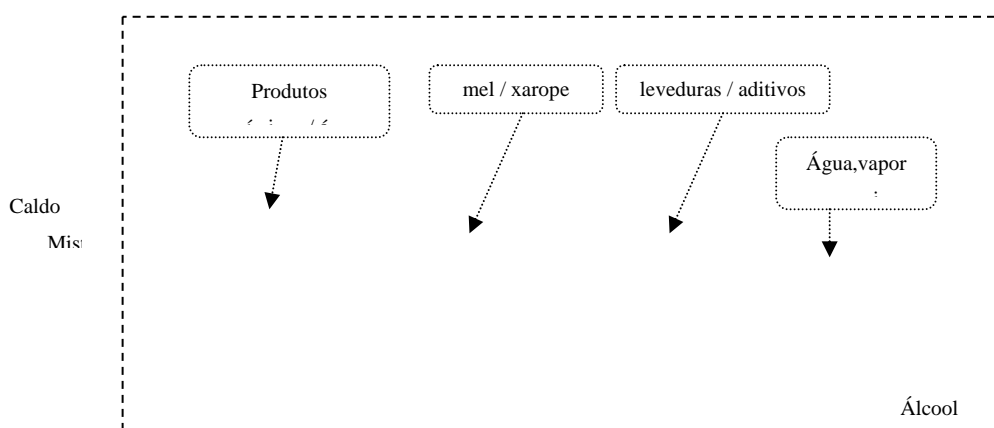


Figura 3.19 – Tratamento do caldo e produção de açúcar

O terceiro sub-sistema da usina sucroalcooleira é a produção de álcool, conforme ilustrado na figura 3.20, sendo este composto pelas seguintes etapas: 1) tratamento do caldo; 2) preparação do mosto com adição de produtos químicos; mel, ou xarope e água; 3) fermentação do caldo; 4) centrifugação do vinho; 5) destilação do vinho; 6) desidratação do álcool; e 7) armazenamento do álcool. Na fase de fermentação do caldo geram os subprodutos vinhaça; a torta de filtro ambos utilizados para a fertilização das lavouras de cana-de-açúcar, a levedura é recuperada e a água quente é resfriada para ser reutilizada na etapa de fermentação.





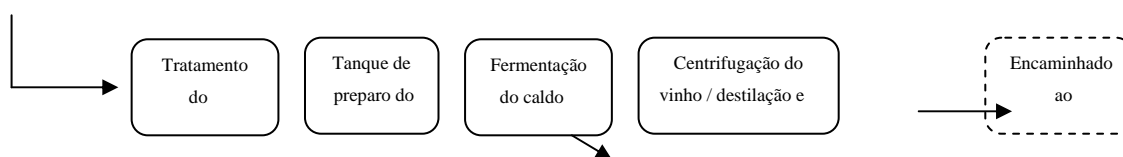


Figura 3.20 – Tratamento do caldo e produção do álcool

O álcool produzido é estocado em tanques na própria usina que o fornece para as distribuidoras de combustível. O álcool é enviado tanto para bases coletoras primárias como secundárias e, a partir deste momento, a sua distribuição segue a logística de distribuição de combustível (gasolina e diesel): de bases primárias o combustível é transferido às bases secundárias e das bases secundárias é entregue aos postos combustíveis. Na primeira etapa, até as bases primárias, o transporte é feito via transporte ferroviário ou rodoviário, sendo que para o álcool este último representa 70% do fornecimento. No estado de São Paulo esta distância é, em média, de 150 km e o transporte é feito utilizando-se caminhões tanques com capacidade de 35.000 litros (OMETTO, 2005 & FIGUEIREDO, 2006).

A produção do álcool se dá após a fermentação do caldo ou de uma mistura de melão e caldo, portanto através de um processo bioquímico. Sendo que, antes de ser enviado ao processo fermentativo, este caldo deve receber um tratamento de purificação.

Após passar pelo tratamento, o caldo deverá sofrer pasteurização: aquecimento e resfriamento imediato. O resfriamento do caldo será realizado em duas etapas:

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

Na terceira etapa do processo de produção do álcool a fermentação. O que ocorre é que o mosto nada mais é que uma solução de açúcar cuja concentração foi ajustada de forma a facilitar a sua fermentação. Basicamente é constituído de uma mistura de méis e caldo, com uma concentração de sólidos de aproximadamente 19° Brix. Caso haja necessidade, usa-se água para o ajuste do Brix.

No processo de fermentação ocorrerá a recuperação de leveduras através da centrifugação do vinho. Esta levedura é recuperada antes de retornar ao processo fermentativo. Então recebe um tratamento severo que consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até normalmente pH= 2,5, ou (pH = 2), mais baixo caso haver infecção bacteriana.

Esta suspensão de fermento diluído e acidificado é conhecido na prática com o nome pé-de-cuba, permanece em agitação de uma hora a três horas, antes de retornar à dorna de fermentação.

A fermentação propriamente dita ocorre quando nesta fase que os açúcares são transformados em álcool. As reações ocorrem em tanques denominados dornas de fermentação, onde se misturam o mosto e o pé-de-cuba na proporção de 2:1 respectivamente.

Os açúcares (sacarose) são transformados em álcool, segundo a reação simplificada de Gay Lussac:



Durante a reação, ocorre intensa liberação de gás carbônico, a solução aquece-se e ocorre a formação de alguns produtos secundários como: álcoois superiores, glicerol, aldeídos, etc. O tempo de fermentação varia de 4 a 8 horas. Ao final deste período praticamente todo o açúcar já foi consumido, com a conseqüente redução da liberação de gases.

Ao terminar a fermentação, o teor médio de álcool nestas dornas é de 7% a 10%, e a mistura recebe o nome de vinho fermentado. Devido à grande quantidade de calor liberado durante o processo e à necessidade da temperatura ser mantida baixa (32°C), é preciso realizar o resfriamento do vinho, em trocadores de calor, por onde o vinho é bombeado continuamente com água em contracorrente.

Este processo de fermentação será realizado em dornas fechadas e haverá a lavagem dos gases de saída em uma torre de recheio para recuperação do álcool evaporado, por absorção deste em água, que é retornada ao processo.

A centrifugação do vinho quarta etapa do processo que é logo após a fermentação. O vinho é enviado às centrífugas para a recuperação do fermento. O concentrado do fermento recuperado, denominado leite de levedura, retorna às cubas para o tratamento. A

fase leve da centrifugação ou vinho "delevedurado", é enviada para as colunas de destilação.

A quinta etapa do processo produtivo do álcool a destilação. O vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10°GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Dentro dos líquidos, além do álcool, encontra-se a água com teores de 89% a 93%, glicerina, álcoois homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico, acético, entre outros em quantidades bem menores.

Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides e outros, e os gasosos, principalmente pelo CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. (anidrido sulforoso)

O álcool presente neste vinho é recuperado por destilação, processo este que se utiliza dos diferentes pontos de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, separando-as.

A destilação propriamente dita é processada em três colunas superpostas: A, A1 e D. Nestas, o etanol é separado do vinho (inicialmente com 7° a 10°GL) e sai com a flegma (vapores com 40° a 50°GL). O tronco de destilação elimina ainda impurezas (ésteres e aldeídos).

O vinho é alimentado no topo da coluna A1, descendo pelas bandejas e sofrendo a epuração, sendo a flegma retirada no fundo desta (bandeja A16) e enviada à coluna B. Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos, são concentrados na coluna D e retirados no seu topo, sendo condensados em dois condensadores R e R1, onde uma fração deste líquido (90% a 95%) retorna ao topo de D e outra é retirada como álcool de 2ª, com graduação de aproximadamente 92°GL.

Uma coluna tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de álcool do seu produto de fundo, que é denominado vinhaça. A vinhaça, retirada a uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de álcool produzido, é constituída principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis e é utilizada na lavoura como fertilizante, sendo seu calor parcialmente recuperado pelo vinho em um trocador de calor. A sua graduação alcoólica não deve ser superior a 0,03°GL. O aquecimento do tronco é realizado pela injeção de vapor no fundo dessa coluna. A finalidade deste tronco é concentrar a flegma a uma graduação de aproximadamente 96°GL e proceder a sua purificação com a retirada das impurezas que a acompanham, como álcoois homólogos superiores, aldeídos,

ésteres, aminas, ácidos e bases. A flegma é alimentada nessa coluna, onde é concentrada e purificada, sendo retirada, sob a forma de álcool hidratado, duas bandejas abaixo do topo da coluna.

Os voláteis retirados no topo da segunda coluna passam por uma seqüência de condensadores onde parte do calor é recuperada pelo vinho, uma fração do condensado é reciclada e outra retirada do álcool de 2ª. Do fundo do tronco é retirada uma solução aquosa chamada flegmaça, que foi esgotada e é reciclada no processo ou eliminada. Os álcoois homólogos superiores, denominados óleos fúsel e alto, são retirados de bandejas próximas à entrada da flegma. O óleo alto retorna à dorna volante e o óleo fúsel é resfriado, lavado, decantado e armazenado para posterior comercialização. O aquecimento da coluna é realizado pela injeção de vapor, como na epuração.

A sexta etapa deste processo produtivo à desidratação. O álcool hidratado, produto final dos processos de epuração (destilação) e retificação, é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor da ordem de 96°GL. Isto ocorre devido à formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação. Este álcool hidratado pode ser comercializado desta forma ou pode sofrer um processo de desidratação descrito a seguir.

A destilação extrativa é constituída de duas colunas, denominadas D e R. A coluna D, recebe o álcool hidratado e o solvente ( mono etileno glicol – MEG ) em contra corrente. No topo da coluna, o álcool anidro é condensado e sai do processo como produto principal. Na região entre a alimentação do solvente e alimentação de álcool hidratado, a água é absorvida pelo MEG, descendo para a base da coluna D, praticamente esgotada de álcool anidro. A corrente de fundo da coluna D, constituída praticamente de água e solvente, alimenta então uma outra coluna denominada de R, que tem por objetivo recuperar este solvente. Nessa coluna, o produto que é a água, mais volátil, sai pelo seu topo; é condensada e eliminada como resíduo, enquanto que o solvente desce esgotado para a sua base, de onde retorna para a coluna D, para realizar uma nova desidratação.

Os glicóis são produtos orgânicos da família dos álcoois, que contêm dois ou mais grupos hidroxila (OH) na sua molécula. São chamados também de dióis ou polióis. O glicol mais simples é o mono etileno glicol (MEG), de fórmula  $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$  , seguido dos seus homólogos superiores que são o di-etileno glicol (DEG) e o tri etileno glicol (TEG).

A sétima etapa do processo é produtivo do álcool o armazenamento. Os álcoois produzidos, hidratado e anidro, são quantificados através de medidores de vazão e tanques calibrados e enviados para armazenagem em tanques de grande volume, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

## **4. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

A pesquisa aplicada neste trabalho quanto à finalidade, objetivos, procedimentos, natureza e local de realização são respectivamente: básica, pois visa gerar conhecimento que poderão ser aplicados em pesquisas aplicadas ou tecnológicas visando à melhoria da qualidade de vida; Exploratória / Descritiva, por aumentar experiência em torno de determinado problema e fazer o levantamento das características conhecidas, componentes fatos, fenômenos e o processo de produção dos produtos álcool e açúcar; bibliográfica e documental por apoiar-se em bibliografias e documentos a respeito do tema; Qualitativa / quantitativa por estabelecer ao longo da pesquisa aspectos de interação dinâmica retro-alimentando, reformulando-se constantemente e quantificando emissões e rejeitos da produção; Campo, por tratar de estudo da *práxis* industrial em usinas sucroalcooleira.

### **4.1. Caracterização da pesquisa**

A pesquisa caracteriza-se como bibliográfica / documental, já que procura avaliar sob a ótica ambiental o processo produtivo das indústrias sucroalcooleiras, (produção de álcool e açúcar) a partir dos levantamentos bibliográficos e documentais desta produção. A partir do inventário das etapas da produção, por meio da metodologia de Análise do Ciclo de Vida de produtos.

Buscando, ainda evidenciar que a ACV é uma ferramenta técnica imprescindível, nas questões ambientais. Capaz, de oferecer às empresas (e de uma maneira geral as diversas partes interessadas da sociedade, como governo, instituições de pesquisa a sociedade organizada, empresários entre outros); informações importantes para uma atuação ambiental responsável, conforme Trivinos (1987, p.133) “é uma categoria de pesquisa cujo objeto é uma unidade que se analisa aprofundadamente”.

A respeito dos métodos, pode-se afirmar que todas as ciências são caracterizadas pela utilização de um método científico (LAKATOS, 1995). Assim, como metodologia, utiliza-se da ISO 14.041 (ABNT, 2004) Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário para a realização deste estudo, proveniente da atividade sucroalcooleira do Estado do Mato Grosso do Sul.

Em Triviños (1987, p.109) tem-se que os estudos exploratórios permitem ao investigador aumentar sua experiência em torno de determinado problema. Parte-se de uma hipótese e aprofunda seu estudo nos limites de uma realidade específica. Buscando antecedentes, maior conhecimento para, em seguida, planejar uma pesquisa descritiva, ou do tipo experimental.

Concordando com o autor acima citado, neste estudo de caso, procura-se demonstrar as dimensões presentes em uma situação, enfatizando a sua complexidade natural e a inter-relação de seus componentes, aprofundando os estudos nos limites da realidade. Portanto, optou-se que a natureza do estudo será: exploratória e descritiva. Identificando características de um determinado fenômeno que, no caso desta pesquisa, trata-se avaliar sob a ótica ambiental o processo produtivo das indústrias sucroalcooleira, (produção de álcool e açúcar) a partir do inventário das etapas da produção, por meio da metodologia de Análise do Ciclo de Vida de produtos.

Para a elaboração deste trabalho serão realizados levantamentos bibliográficos que poderão ser considerados como o primeiro embasamento. Ainda, serão realizadas pesquisas a documentos pertinentes ao tema da indústria em questão, bem como a práxis do fenômeno que se propôs analisar.

Para a interpretação e análise dos dados será utilizada a ferramenta da metodologia de ACV, em acordo com as Normas ISO 14041 (ABNT, 2004).

#### **4.2. Informações metodológicas e limitações**

Todas as informações e dados necessários à elaboração deste estudo seriam coletados em duas usinas produtoras de açúcar e álcool situadas no Estado do Mato Grosso do Sul, escolhidas em função de sua representatividade no conjunto de usinas em funcionamento. Sendo que outro critério adotado para a determinação das usinas analisadas, foi a anuência de usinas em prestar as informações. Contato através ligação telefônica indicavam que haveria sucesso no que se pleiteava. Porém no decorrer da

pesquisa passou a ser uma limitação, uma vez que estas usinas não abriram suas portas à pesquisa.

Então se optou em utilizar os dados já coletados e outros da literatura e construir usinas fictícias. A partir deste ponto cada uma das empresas criadas e analisadas possui área dedicada ao cultivo da cana-de-açúcar e também fornecedores, (parceiros) que oferecem sua produção.

Como uma forma de caracterizar as usinas e destilarias fictícias criadas elas são denominadas: Usina I, Usina II.

Características da Usina I e sua propriedade agrícola. Área total do canavial aproximadamente 14.430 hectare (ha), próprios e com produtividade de 80 toneladas de cana por ano (TC / ha.a). Sendo que sua capacidade de moagem de 6.000 toneladas de cana dia (TC / dia). Estes dados forão fornecidos pela usina visitada.

A Usina II dispõe de 45.000 ha, sendo aproximadamente 20.000 próprio e 25.000 arrendado. Sua produtividade também de 80 TC / ha.a. e capacidade de moagem diária de 18.000 TC / dia. Dados estes informados por funcionário da indústria.

De acordo com os valores encontrados na literatura, 76,8 TC / ha.a. (IBGE, 2007), 85 TC / ha.a. (MAPA, 2007). Observa-se que a produtividade anual varia bastante dependendo do corte e outros fatores como condições climáticas. Cabe lembrar que os dados utilizados para esta análise foram alguns coletados em unidades de produção agrícolas industriais anônimas e que estes estão bem próximos às realidades atuais. O valor observado e que foi utilizado neste estudo é: 80 TC / ha.a e 6 cortes.

Na etapa agrícola o manejo convencional do canavial foi considerado, sendo a fertirrigação feita com os subprodutos da usina, vinhaça e torta de filtro. Com colheita 85% manual com queima do canavial e 15% mecanizada. conforme a prática na maioria das usinas no estado.

O levantamento de informações considerou as seguintes informações relevantes à Análise do Ciclo de Vida dos Produtos.

- Contribuição específica de cada etapa do processo nas categorias de impactos normalmente utilizados em estudos de ACV. Este trabalho atenderá às seguintes categorias: o Aquecimento Global, Toxicidade Humana, acidificação, e Esgotamento dos Recursos Naturais (combustíveis fósseis – óleo Diesel e consumo d'água)
- Tipo de colheita, manual e mecanizada.
- Produção anual de cana-de-açúcar por hectare; e

- Insumos aplicados anualmente às lavouras incluindo água, mudas, corretivos de solo, fertilizantes, pesticidas e combustíveis utilizados no: plantio, na colheita, no transporte até a usina, e da usina aos Centros de Distribuição. (CD).

### 4.3. Recursos computacionais – *software*

Vários programas de computador – softwares e bases de dados têm sido desenvolvidos por programadores para apoiar a condução de estudos ambientais de Análise de Ciclo de Vida. Permitindo aos pesquisadores uma ferramenta acessível, prática e confiável para a execução dos trabalhos em ACV. Em Ferreira (2004, p.56), tem-se que os mais citados na bibliografia e que se dá uma breve descrição de dois, são: SimaPro; KCL-ECO e KCL EcoData; LCAiT; GaBi; e, PEMS.

**SimaPro** (<http://www.pre.nl>) SimaPro é o nome dado a uma família de diferentes versões de ‘software’, tais como, versão ‘designer’, analista, multi-utilizador, extra utilizador, educacional singular e multi-utilizador e uma versão demo. Desde que foi introduzido em 1990, este ‘software’ tem sido o mais utilizado para análise ambiental dos produtos com vista a uma tomada de decisão no desenvolvimento de produtos e política de produto. A versão SimaPro 5.1 (Pré, 2002) dispõe das seguintes bases de dados: Buwal 250; Data Archive; Dutch Input Output Database; ETH-ESU 96 System processes; ETH-ESU 96 Unit processes; Idemat 2001; Industry data; Methods. Esta mesma versão dispõe dos seguintes métodos de análise de impacto: CML 1991; CML 2 baseline 2000; Eco-indicator 95; Eco-indicator 99 (E); Eco-indicator 99 (H); Eco-indicator 99 (I); Ecopoints 97 (CH); EDIP/UMIP 96; EDIP/UMIP 96 (resources only); EPS 2000.

**GaBi** (<http://www.gabi-software.com/software.html>) A versão GaBi 4, é uma ferramenta para construir balanços de ciclo de vida que suporta o manuseamento de grande quantidade de dados e com modelação do ciclo de vida do produto. Este software calcula balanços de diferentes tipos e ajuda a agregar os resultados. As suas principais características são: • O software GaBi 4 é baseado num conceito modular. Isto significa que planos, processos, fluxos e suas funcionalidades estabelecem unidades modulares; • Dados de análise de impacto, inventário e modelos de



ponderação estão separados pelo que os módulos são facilmente manuseados e depois interligados para o cálculo ACV; • Várias fases do ciclo de vida (produção, utilização e deposição) podem ser capturados em módulos e depois modificados separadamente; • Outra característica da estrutura modular é que o software e a base de dados são unidades independentes. Dentro da base de dados toda a informação é guardada, p.ex, modelos de produto e perfis ecológicos. As bases de dados GaBi são sempre construídas com uma estrutura básica definida. O próprio software disponibiliza ao utilizador a interface para a base de dados. Via interface do utilizador, os dados armazenados podem ser lidos e modificados.

Ainda, em Pereira (2004, p.32), tem-se que alguns dos principais modelos empregados no apoio à realização de ACV, estão descritos a seguir:

- CMLCA- Chain Management by Life Cycle Assessment – CML, Leiden University;
- *Design for Environment, Ver 1.0- Boothroyd Dewhurst, Inc. e TNO Institute;*
- ECO-it: Eco-Indicator - Ferramenta para *design* ambiental - PRÉ Consultants;
- *EcoManager- Franklin Associates;*
- EcoPro- *Sinum Corporate Environmental Management;*
- ECOScan- *Turtle Bay by TNO;*
- EDIP- *Environmental design of industrial products - Danish EPA;*
- EIOLCA- *Economic Input-Output LCA at Carnegie Mellon University;*
- GaBi 4- (*Ganzheitliche Bilanzierung*) - *University of Stuttgart (IKP)/PE Product Engineering;*
- IDEMAT- *Delft University Clean Technology Institute Interduct Environmental Product Development;*
- KCL-ECO 3.0 - *KCL LCA software;*
- *Life-Cycle Advantage - Battelle;*
- LCAiT - *CIT EkoLogik (Chalmers Industriteknik);*
- LCN *et Base – ACV a partir de US data – Sylvatica;*
- *PT Laser - Ferramenta para avaliar impactos econômicos e ambientais de processos;*
- *Decisions - Sylvatica;*
- REPAQ - *Franklin Associates;*
- SimaPro 4.0 *for Windows - PRÉ Consultants;*
- SPINE - *SPINE Modelo de informação para dados de ICV e ACV;*
- SPOLD - *Society for the Promotion of Life-cycle Assessment Development;*
- TCAce - *Life cycle assessment and economic evaluation integration – Sylvatica;*

- TEAM (TM) (*Tools for Environmental Analysis and Management*) - Ecobalance, Inc.;
- TIIM - *Franklin Associates*; e
- Umberto - *Software para ACV - Institut für Umweltinformatik*.

O que se pode observar é que vários são os *softwares* que podem ser utilizados em ACV, porém conforme Pereira (2004), as limitações como valor no mercado e as versões Demo livres disponíveis apresentam muitas limitações para utilização.

A maior parte das ferramentas de software desenvolvidas é comercializada por preços que variam de 1.500 a 10.000 Euros. Versões Demo livre estão disponíveis para vários programas, porém, apresentam muitas limitações de capacidade de recursos aos possíveis compradores interessados. (PEREIRA, 2004, p.30).

Pode-se, portanto, considerar a ACV como uma das metodologias mais completas para estudos de processos e produtos, com vistas à análise do perfil ambiental dos mesmos. E que através da realização da ACV pode-se conseguir a certificação de selo verde dos produtos tipo III utilizando-se da norma ISO 14025.

#### 4.4. Procedimentos metodológicos

Na definição do objetivo e escopo deste estudo pretende-se demonstrar que a ACV é uma ferramenta técnica viável, nas questões ambientais, capaz, de oferecer aos tomadores de decisão de indústrias sucroalcooleira, entre outros. Informações importantes para uma atuação ambiental responsável.

Assim, para os produtos álcool e açúcar a ser estudado. As unidades funcionais atribuídas aos produtos serão: para a produção de açúcar **1 kilograma** e para a produção de álcool **1litro**. Nos cálculos serão utilizadas expressões com base em hectares (ha) e tonelada de cana (TC), para permitir a avaliação do impacto considerando outras culturas.

Considera-se neste estudo, essencialmente, os processos internos às usinas (I e II), ou seja, os processos elementares para as fases de produção das unidades funcionais definidas. Não serão estudadas as etapas após os CDs, ou seja a utilização dos produtos, o pós-uso, descarte dos materiais e emissões diversas.

Como a matéria prima básica destes produtos é a mesma, foi considerada como parte do sistema a fase de plantio da cana-de-açúcar , transporte até a usina, moagem,

produção de açúcar e transporte até o Centro de Distribuição, a produção de álcool e transporte até o Centro de Distribuição. Cabe salientar que na produção do álcool alguns produtos químicos são utilizados. Porém, foram desconsiderados uma vez que o consumo é proporcionalmente pequeno. Esta restrição foi feita, sobretudo, pelo fato de não haver informações da indústria sobre seu uso “direito de propriedade quanto de confidencialidade”, apenas encontrados na literatura industrial referenciando o seu pequeno consumo sendo em sua maioria ácidos (fosfórico e sulfúrico), bactericidas, cal virgem, sulfito, antiespumante, enxofre, polímeros e coagulantes. Deve-se salientar, no entanto, que a relevância ambiental de tais subsistemas não se torna menor com esta decisão.

No quadro 4.1, são listadas as substâncias analisadas, com suas respectivas unidades funcionais utilizadas neste estudo.

Quadro 4.1 – Variáveis analisadas e suas unidades funcionais

COMPONENTES	UNIDADE FUNCIONAL
Água	m <sup>3</sup> / TC x ano
Açúcar	kg / TC x ano
Chuva	m <sup>3</sup> / TC x ano
Combustível	l diesel / TC x ano
Corretivos	kg / TC x ano
Mudas	kg / TC x ano
Herbicidas	kg / TC x ano
Fertilizantes	kg / TC x ano
Insumos químicos	kg / TC x ano
Álcool	l / TC x ano
CO <sub>2</sub>	g / TC x ano

NO <sub>x</sub>	g / l álcool
SO <sub>x</sub>	g / l álcool
HC	g / l álcool
MP	g / l álcool
Perda de Solo	t / TC x ano
Bagaço	kg / TC x ano
Vinhaça	l / TC x ano
Torta de Filtro	kg / TC x ano
Cinzas	kg / TC x ano
Lodo	kg / TC x ano
Águas residuárias	m <sup>3</sup> / TC x ano

---

Para o Inventário do Ciclo de Vida dos Produtos açúcar e álcool, 2ª fase da ACV. Serão efetuados a coleta e consumo de recursos naturais, demanda energética e as emissões associadas à cadeia produtiva, que corresponde à etapa do inventário da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida dos Produtos. Torna-se importante para a avaliação de impactos ambientais, porque não se restringe a análise dos processos produtivos da cadeia, mas sim de todos os processos necessários para suportar a produção e transporte das matérias-primas utilizadas na produção.

Assim, neste estudo busca-se calcular e levantar na literatura os consumos dos seguintes recursos naturais: água (uso direto), solo (perda de solo em função da atividade agrícola), uso da terra (área necessária para a produção agrícola, matéria prima – cana-de-açúcar), consumo de combustível fóssil, nas etapas de plantio colheita e transporte. Ainda, como saída do sistema dados referentes às emissões de CO<sub>2</sub> decorrente da queima da cana para a colheita, da perda de solo (oxidação do solo), da queima de combustível fóssil nas diversas etapas da produção.

A coleta de dados requer antes a definição do escopo do estudo ACV, fins estabelecer o conjunto inicial dos processos elementares e categorias de dados que deverão ser associados, assim a ISO 14041 (ABNT, 2004) recomenda que esta fase seja contemplada com o desenho de fluxogramas do processo, com a descrição de cada processo elementar a ser estudado e a definição da unidade funcional de referência. Ver figura 5.1

**Procedimentos de cálculo para a usina I**, a produção de açúcar e álcool foi realizada de acordo com os dados da Safra de 2007, tendo esta safra à duração de 210 dias, compreendendo as etapas de colheita, industrialização e distribuição. A área total do

canavial 14.430 hectares, sendo o total de cana moída de 1.154.400 TC/safra, a produção média foi de 80 TC/ha/ano, utilizou-se a fertirrigação (vinhaça, cinzas, entre outros).

Na usina onde ocorre o processo industrial obteve-se os seguintes dados: Produção de álcool 32,12 litros por tonelada de cana processada, e 92,05 kg de açúcar por tonelada de cana processada. Estes valores correspondem à média apresentada no Balanço Nacional de cana-de-açúcar e de Bioenergia (MAPA, 2007). Corroborando tem –se no quadro 4.2 a quantidade média de produção de açúcar e álcool por hectare na região Centro Sul e no Brasil. (CONAB, 2008)

Quadro 4.2 – Média da produção açúcar e álcool na Região Centro Sul e no Brasil

Região	Açúcar Kg / TC	Álcool l / TC	Açúcar Kg / ha	Álcool l / ha
Centro Sul	135,1	82,2	11.380	6.295
Brasil	134,1	81,6	10.915	6.641

Fonte: CONAB (2008)

Pereira (2008, p.110), cita que foram encontrados na literatura valores de 80 l/TC, em: Lamonica, (2005); 85 e 87 l/TC e: Macedo e Koller (1997). Assim, assumiu-se que as usinas I e II produziram aproximadamente **80 l / TC**, caso a produção fosse apenas álcool. No quadro 4.3, apresenta-se outros dados importantes referentes à saída do processo elementar que ocorre na usina I. Ver memorial de cálculo Apêndices 1 e 2 deste trabalho.

Quadro 4.3 – Saídas do processo elementar usina I

Saída	Quantidade
Bagaço	289,28 kg / TC
Torta de Filtro	41,19 kg /TC
Vinhaça	481,84 litros / TC
Lodo, cinzas, palhas, etc...	210,31 kg / TC
Águas residuárias	Não informado
Vapor	636,41 kg / TC

**Procedimentos de cálculo para a usina II**, a produção de açúcar e álcool foi realizada de acordo com os dados da Safra de 2007, tendo esta safra à duração de 210 dias, compreendendo as etapas de colheita, industrialização e distribuição. A área total do

canavial 45.000 hectares, sendo o total de cana moída de 3.600.000 TC/safra, a produção média foi de 80 TC/ha/ano, utilizou-se a fertirrigação (vinhaça, cinzas, entre outros).

Na usina onde ocorre o processo industrial obteve-se os seguintes dados: Produção de álcool 27,167 litros por tonelada de cana processada, e 89,583 kg de açúcar por tonelada de cana processada. No quadro 4.4, apresenta-se outros dados importantes referentes à saída do processo elementar que ocorre na usina II.

Quadro 4.4 – Saídas do processo elementar usina II

Saída	Quantidade
Bagaço	270 kg / TC
Torta de Filtro	35 kg /TC
Vinhaça	820 litros / TC
Lodo, cinzas, palhas, etc...	190 kg / TC
Águas residuárias	1,5 m <sup>3</sup>
Vapor	Não informado

As duas usinas em questão produzem simultaneamente os produtos açúcar e álcool sendo que a Safra de 2007, a relação para a produção de álcool por TC processada foi para a usina I de **40,15%**. Enquanto que para usina II este percentual foi de apenas **33,95%**. A decisão sobre a produção ser mais alcooleira ou açucareira é em função do mercado e contratos firmados entre as usinas.

A partir da identificação das principais etapas de produção dos produtos açúcar e álcool e, com base na definição da unidade funcional e limites dos sistemas, é possível estabelecer o inventário de consumos e descartes associados às produções de açúcar e álcool estudadas. Nos quadros 4.5, 4.6 e 4.7, baseado em pesquisa de campo tem-se o inventário das entradas do processo elementar da produção de cana-de-açúcar, encontra-se representada nos quadros 4.8 e 4.9 a saída do sistema, plantio da cana-de-açúcar – matéria prima utilizada na produção de açúcar e álcool, nas usinas I e II.

Quadro 4.5 – Inventário “Entradas – Canavial”

Indicadores de consumo	Usina I	Usina II	Unidade
Chuva	187,50	170,15	m <sup>3</sup> / TC x ano
Água (Irrigação)	0,075	0,011	m <sup>3</sup> / TC x ano
Água (Fertirrigação)	Não informado	6,250E-3	m <sup>3</sup> / TC x ano

Combustível (colheita)	2,375	3,25	l diesel / TC x ano
Combustível (transporte da Cana)	0,530	0,420	l diesel / TC x ano
Mudas	150	175	Kg / TC x ano
Corretivos	2,5	5	Kg / TC x ano
Herbicidas	0,054	0,562	Kg / TC x ano
Fertilizantes	5,262	1,688 (apenas NPK)	Kg / TC x ano

Quadro 4.6 – Inventário “Entradas – Usina”

Indicador de consumo	Usina I	Usina II	Unidade
Insumos Químicos	0,828	1,17	kg / TC x ano
água	1,50	1,60	m <sup>3</sup> / TC x ano

Quadro 4.7 – Inventário “entrada” – Diesel – etapas agrícolas e transporte da UF

Indicador de consumo	Usina I	Usina II	Unidade
Combustível (Diesel)	0,0388	0,0487	l diesel / l álcool
Combustível (Diesel)	0,0222	0,0301	l diesel / kg açúcar

Quadro 4.8 – Inventário “Saídas – Usina”

Saída	Usina I	Usina II	Unidade
Açúcar	92,050	89,583	Kg / l / TC x ano
Álcool	32,120	27,167	
Bagaço	289	270	Kg / TC x ano
Vinhoto	481,8	820	l / TC x ano
Torta de filtro	41,1	35	Kg / TC x ano
Lodo, Cinzas, etc.	210	190	Kg / TC x ano
Águas residuárias	1,2	1,5	m <sup>3</sup> / TC x ano

Quadro 4.9 – Saída de emissões relacionadas ao consumo de combustível

Emissões	Usina I álcool	Usina I açúcar	Usina II álcool	Usina II açúcar	Unidade
CO	20.385,47	33.063,60	66.782,71	136.937,11	kg

HC	6.485,56	10.519,05	21.246,67	43.566,01	kg
SO <sub>x</sub>	3.396,85	5.509,42	11.128,07	22.817,97	kg
NO <sub>x</sub>	3.396,85	5.509,42	11.128,07	22.817,97	kg
MP	6.795,15	11.021,20	22.260,91	45.645,70	kg

## 5. RESULTADO E DISCUSSÕES

De acordo com a ISO 14041 (ABNT, 2004), são considerados como limites ou fronteiras do sistema, as linhas onde se encerram as medições de entradas ou saídas de materiais e energia que compõem o processo de produção que será estudado. Estes limites, uma vez estabelecidos, podem sofrer alterações durante a execução do estudo, seja por dificuldades inesperadas ou por irrelevâncias descobertas. Assim, têm-se como os limites dos sistemas as etapas que compreendem: plantio, transporte e moagem da cana-de-açúcar; industrialização e transporte dos produtos açúcar e álcool até os centros de distribuições – CDs. Para tal foi elaborado o diagrama representativo dos limites do sistema, figura 5. 1.



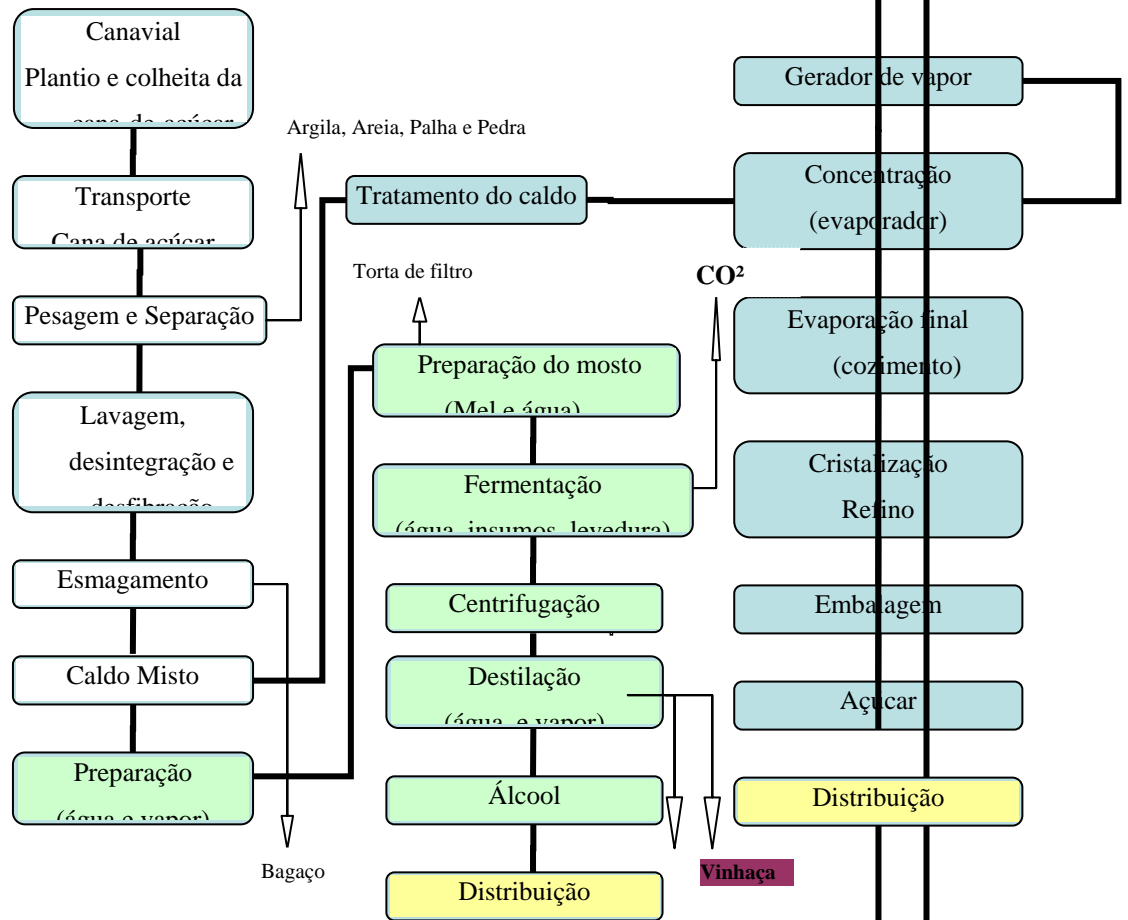


Figura 5. 1 – Fluxograma detalhado das etapas de produção de álcool e açúcar





O nível de aprofundamento que se dá ao estudo e, conseqüentemente, à abrangência do sistema, depende bastante de condições como tempo para realização do estudo, recursos humanos e financeiros disponíveis, importante ainda, é destacar o interesse que a empresa onde será realizando o estudo em cooperar, por meio da liberação de dados e acesso aos espaços e processos necessários, o que não ocorreu na realização deste estudo. É que pode ser explicado diante a atual fase que se encontra o setor sucroalcooleiro, grande foco mundial, faz com que dados relevantes ao sistema de produção de álcool e açúcar sejam tratados como sigilosos uma vez que a sua divulgação ou disponibilização a terceiros, possam ser interpretados de maneira equivocada por críticos e até pela “imprensa”, gerando conseqüências negativas para a imagem da empresa.

Os aspectos considerados neste estudo enfatizaram, essencialmente, a qualidade ambiental, não levando em conta saúde e segurança ocupacional nem sobre a qualidade dos produtos álcool e açúcar.

Os veículos de transporte de cana-de-açúcar mais usuais em usinas de álcool estão apresentados no quadro 5.1. Sendo que os tipos e as dimensões das carrocerias variam em função das características da cana a ser carregada (inteira ou picada) e da forma de carregamento.

Devido às grandes variações existentes no modelo de transporte de cana (Romeu & Julieta, Treminhão, Pentaminhão, Tetraminhão e Rodotrem), surge uma dificuldade em comparar o desempenho entre esses modelos. Então, para efeito deste estudo optou-se em estabelecer uma média de consumo km / l de todos os veículos utilizados para o transporte da cana-de-açúcar até a usina, em cada unidade estudada, (01 caminhão como média da frota) e a capacidade de carregamento para ambas usinas estabeleceu-se uma média de 60 toneladas por viagem.

Quadro 5.1 – Composições usuais para transporte de cana-de-açúcar

Descrição	Esquema	Nome Popular	Capacidade Ton	Consumo Km / l
Caminhão plataforma		“Truck” ou Toco	15	3,5
Caminhão plataforma com um reboque acoplado		“Romeu e Julieta	25	2,5
Caminhão plataforma com dois reboque acoplado		“Treminhão”	45	2,04
Cavalo mecânico com dois semi- reboques acoplados		“Rodotrem”	65	1,6

Fonte: Adaptado de Silva (2006)

A **usina I** para realizar o plantio e colheita da cana-de-açúcar utiliza-se de equipamentos de apoio na atividade agrícola como: caminhão comboio, caminhão oficina, caminhão *munck* e caminhão prancha.

- Caminhão comboio: É utilizado para abastecimento, lubrificações e troca de óleo dos equipamentos na lavoura.
- Caminhão oficina: Tem a função de executar reparos dos equipamentos na lavoura.
- Caminhão *munck*: Utilizado no transporte e abastecimento de insumos (fertilizantes) na lavoura. Eventualmente também pode transportar algum equipamento de menor porte.
- Caminhão prancha: Tem a função de realizar o transporte de equipamentos na lavoura.

Alem desses equipamentos a Companhia agrícola possui estrutura própria de oficina, posto de lubrificação, borracharia e lavador, sendo que os cálculos de consumo de combustíveis na fase do plantio e colheita foram fornecidos pela própria usina, sendo de 2,375 l / TC. Os resultados encontrados para UF dos produtos álcool e açúcar “etapa agrícola” foram respectivamente: 0,030 l diesel e 0,0154 l diesel. O memorial de cálculo no apêndice 1, tem detalhado o consumo na etapa agrícola.

Já os consumo de combustíveis para o transporte da cana-de-açúcar até a usina considerando a distância do canavial de 30 km utilizou-se do seguinte cálculo: “01 caminhão” motor diesel “rodootrem” com capacidade para transportar 60 ton.; consumo médio de diesel é 0,53 l / km / TC ou rendimento de 1,88 km / l. Assim, o transporte de 12,5 kg e 6,47 kg até a usina (quantidade de cana-de-açúcar necessária respectivamente para produção da unidade funcional – 1litro de álcool e 1kg de açúcar) são necessários **0,0062 e 0,0034** litro de diesel respectivamente.

A usina I produziu (safra 2007), 37.079.328 litros de álcool e 106.192.621,10 quilogramas de açúcar. O transporte destes produtos até ao Centro de Distribuição é realizado por “caminhões” que tem um rendimento médio de 3,57 km/l ou 0,27 l / Km, com capacidade de transportar 35.000 litros de álcool e 30 toneladas de açúcar. Sendo à distância até os CDs aproximadamente 180 Km (Apêndice 1). O consumo de óleo diesel por UF do álcool e açúcar até CDs neste estudo foi de 0,0029 l e 0,0034 l, respectivamente. Assim, ao somar o consumo de óleo combustível para transportar cana-de-açúcar até a usina para produzir as UF deste estudo, com os valores obtidos para a distribuição até os CDs, tem-se o total de consumo da etapa transporte para as unidades funcionais pré-estabelecidas 0,0091 l e 0,0068 l. Os cálculos dos resultados apresentados encontram-se no apêndice 1.

A **usina II** para realizar o plantio e colheita da cana-de-açúcar também se utiliza equipamentos de apoio na atividade agrícola como: caminhão comboio, caminhão oficina, caminhão *munck* e caminhão prancha.

Assim como a usina I possui equipamentos, veículos e máquinas diversas para o apoio na área agrícola do empreendimento, plantio e colheita da cana-de-açúcar. Possui estrutura própria de oficina, posto de lubrificação, borracharia e lavador.

Os cálculos de consumo de combustíveis na fase do plantio e colheita foram estimados, em função do maquinário utilizado e dados da literatura, em de 3,25 l / TC. Os resultados encontrados para UF dos produtos álcool e açúcar “etapa agrícola” foram respectivamente: 0,0406 l e 0,0239 l diesel. O memorial de cálculo no apêndice 2, tem detalhado o consumo na etapa agrícola.

Já os consumo de combustíveis para o transporte da cana-de-açúcar até a usina considerando a distância do canal de 38 km utilizou-se do cálculo: “01 caminhão” (composto por um conjunto Romeu e Julieta, no qual se acopla mais um reboque, ou Julieta como é chamada) com capacidade para transportar 45 ton. e consumo médio de diesel é 0,42 l / km / TC ou rendimento de 4,02 km / l. Para o transporte de uma tonelada, portanto, é necessário 0,42 litro de Diesel. Assim, a colheita e o transporte de 12,5 kg e 7,37 kg (quantidade de cana-de-açúcar necessária respectivamente para produção da unidade funcional – 1litro de álcool e 1kg de açúcar) são necessário **0,0052 e 0,0031** litro de diesel respectivamente.

A produção da usina II (safra 2007) foi de 97.776.000 litros de álcool e 324.378.316,8 quilogramas de açúcar. O transporte destes produtos até ao centro de Distribuição foi realizado por “caminhões” que tem um rendimento médio de 3,8 km/l ou 0,263 l / Km, com capacidade de transportar 32.000 litros de álcool e 30 toneladas de açúcar. Sendo à distância até os CDs aproximadamente 180 Km (Apêndice 2). O consumo de óleo diesel por UF do álcool e açúcar até CDs neste estudo foi de 0,0029 l e 0,0031 l, respectivamente. Assim, ao somar o consumo de óleo combustível para transportar cana-de-açúcar até a usina para produzir as UF dos produtos açúcar e álcool neste estudo, com os valores obtidos para a distribuição até os CDs, tem-se o total de consumo da etapa transporte para as unidades funcionais pré-estabelecidas 0,0071 l e 0,0062 l. Os cálculos dos resultados apresentados encentram-se no apêndice 2.

Os valores médios de poluentes emitidos por litro de óleo diesel queimado em veículos automotores (incluindo máquinas e tratores), considerando a massa específica do óleo como sendo de 0,85 kg/l, são apresentados no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Poluentes gerados pela queima de óleo diesel

Poluentes	Quantidades
CO	14,025 g/l
HC	4,462 g/l
NO <sub>x</sub>	2,337 g/l
SO <sub>x</sub>	2,337 g/l
Particulados	4,675 g/l

Fonte: (Instituto de Catálisis y Petroleoquímica –ICP apud PEREIRA, 2004. p. 56)

Considerando a tabela acima e que o resultado do consumo de óleo diesel combustível por unidade funcional (1 litro de álcool e 1 kg açúcar) são respectivamente nas usinas I, 0,0388 l diesel / 1 álcool ; 0,0222 l diesel / kg açúcar e usina II, 0,0487 l diesel / 1 álcool ; 0,0301 l diesel / açúcar respectivamente. As emissões dos bens produzidos por UF esta representada no Quadro 5.3 a seguir.

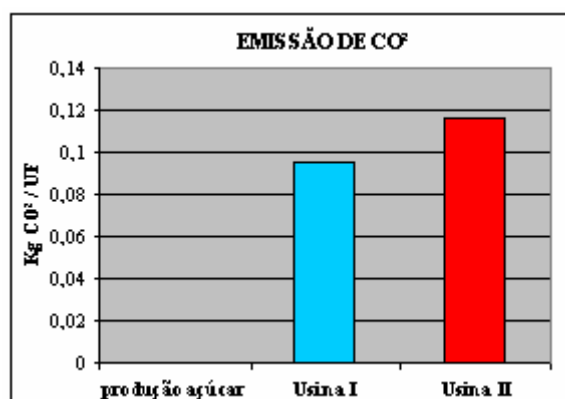
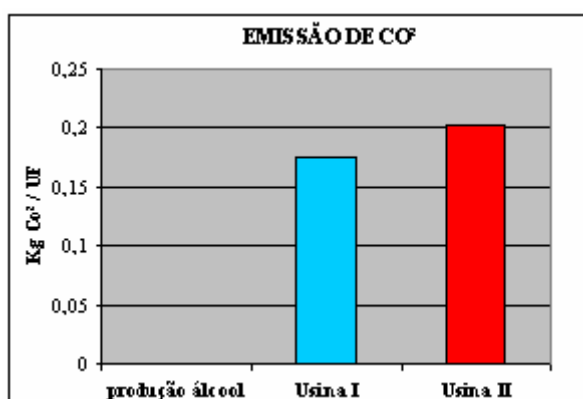
Quadro 5.3 – Emissões por unidade funcional 1 litro de álcool e 1kg de açúcar

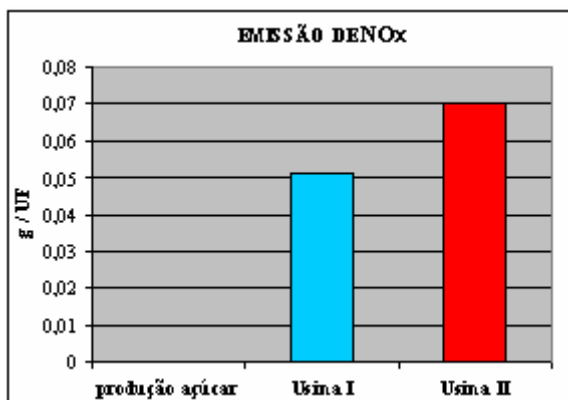
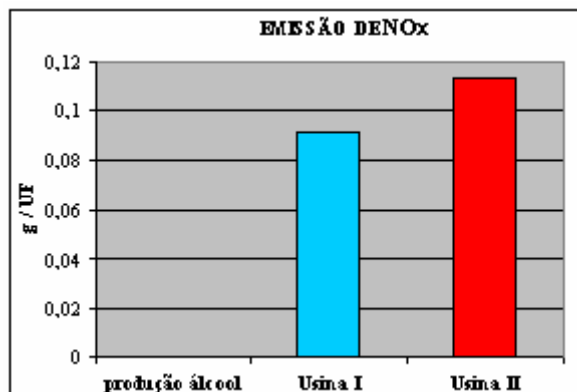
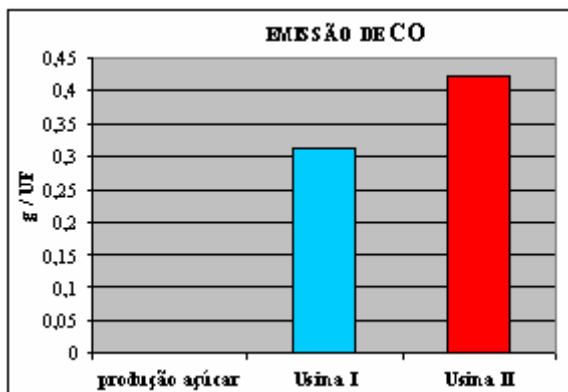
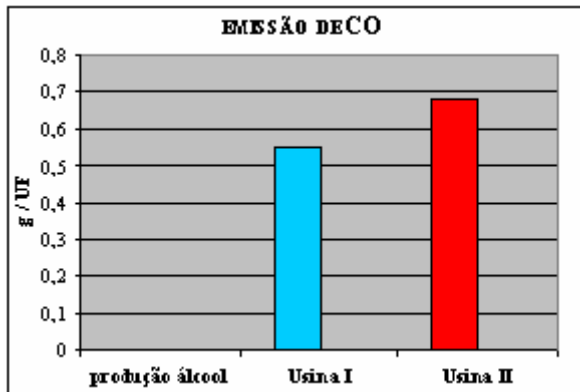
Unidade Funcional - 1litro Álcool		Unidade Funcional – 1 kg Açúcar	
USINA I	USINA II	USINA I	USINA II
CO: 0,549g	CO: 0,683g	CO: 0,311g	CO: 0,422g
HC: 0,174g	HC: 0,217g	HC: 0,099g	HC: 0,134g
NO <sub>x</sub> : 0,091g	NO <sub>x</sub> : 0,113g	NO <sub>x</sub> : 0,051g	NO <sub>x</sub> : 0,070g
SO <sub>x</sub> : 0,091g	SO <sub>x</sub> : 0,113g	SO <sub>x</sub> : 0,051g	SO <sub>x</sub> : 0,070g
Particulados: 0,183g	Particulados: 0,227g	Particulados: 0,103g	Particulados: 0,140g

Nesta fase Avaliação de impactos buscou-se identificar, caracterizar e avaliar alguns dos impactos potenciais das intervenções ambientais de acordo com o objetivo e escopo deste trabalho. O indicador de descarte (emissão) dos sistemas estudados está representado na figura 5.2, e tem como propósito determinar a intensidade com que tais

intervenções ambientais se relacionam com problemas ambientais e ainda fornecer dados para a fase de interpretação.

Os cálculos das emissões de CO<sup>2</sup>, representada no indicador de emissões figura 5.2 são: para Usina I = 0,175, e 0,095 KgCO<sup>2</sup> / Kg açúcar; Para Usina II = 0,202 KgCO<sup>2</sup> / l álcool e 0,117 KgCO<sup>2</sup> / Kg . (Ver tabela 5.1 p. 86 - Balanço de emissões de CO<sup>2</sup> usina I e II).





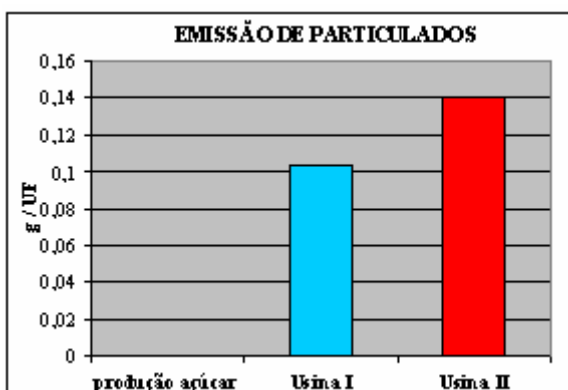
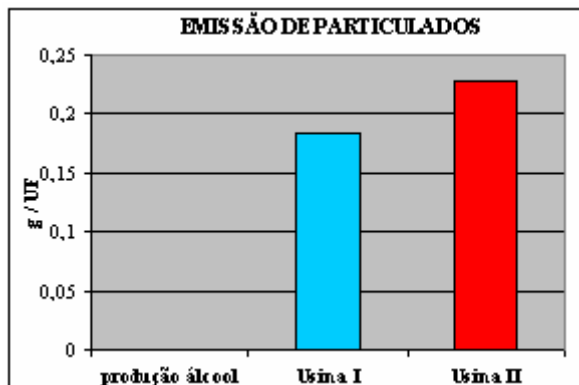


FIGURA 5.2 – Indicadores de descarte (emissão) dos sistemas estudados

A indicação de consumo de recursos naturais associados à cadeia de produção e transporte até o CDs do álcool e açúcar para as unidades funcionais definidas, para a matéria prima “cana-de-açúcar” é 1 tonelada de cana-de-açúcar no canavial. (TC); para os produtos álcool 1litro (l) e considerado 1kg para o açúcar. No quadro 5.4 apresenta-se o consumo destes recursos.

Quadro 5.4 – Consumo de recursos naturais nas usinas sucroalcooleira

Indicador de consumo	Álcool Usina I	Açúcar Usina I	Álcool Usina II	Açúcar Usina II	Unidades
Perda de solo	68.944,37	102.772,62	181.802,25	355.625,55	ton / Safra
Uso da terra	125 5.793,6 ha	125 8636,35 ha	125 15.277,5 ha	125 17.525,05 ha	m <sup>2</sup> / TC / a
Consumo de água	1.572,20	1.576,45	1615,20	1.610,52	l / TC
Consumo de Combustível	3.104 80 litros	3,414 153,8 kg	3,896 80 litros	4,08 135,68 kg	l / TC

Conforme Lal (2001 apud PEREIRA, 2008) tem-se que a perda de solo ocorre devido à erosão – a perda de solo fértil leva à diminuição da capacidade produtiva das terras



agricultáveis, resultando em diminuição de taxas de infiltração de água, da capacidade de retenção de umidade, da diminuição do material orgânico, bem como da biodiversidade e profundidade do solo.

Corroborando tem-se ainda em Lombardi Neto & Drugowich (1994 apud PEREIRA, 2008) que erosão hídrica é um processo natural que ocorre mesmo em áreas naturais, podendo sua intensidade variar em função do regime hídrico, topografia do terreno, natureza do solo e das ações antrópicas, como a prática agrícola.

Normalmente a compensação da fertilidade do solo ocorre com a aplicação de fertilizantes químicos, em especial fontes de nitrogênio, sendo muitas as conseqüências da crescente aplicação destes fertilizantes. O próprio veículo ou equipamento utilizado para aplicação dos fertilizantes queima combustível fóssil ocorrendo um aumento nas emissões quanto maior for o volume a ser aplicado. O excesso de nitrogênio não é absorvido pela planta passando a contaminar tanto os ecossistemas terrestres como os corpos d'água. Uma das conseqüências da poluição por nitrogênio é o crescimento excessivo da biota aquática, que finda em restringir o uso da água em várias atividades, ou seja, ocorre a eutrofização pelo excesso de nutrientes. As usinas I e II quanto ao uso de fertilizantes informaram que empregam respectivamente: 5,262 Kg / TC x ano e 1,688 Kg / TC x ano (apenas NPK), assim na figura 5.3 encontra-se representado o consumo de fertilizantes por UF (álcool e açúcar).

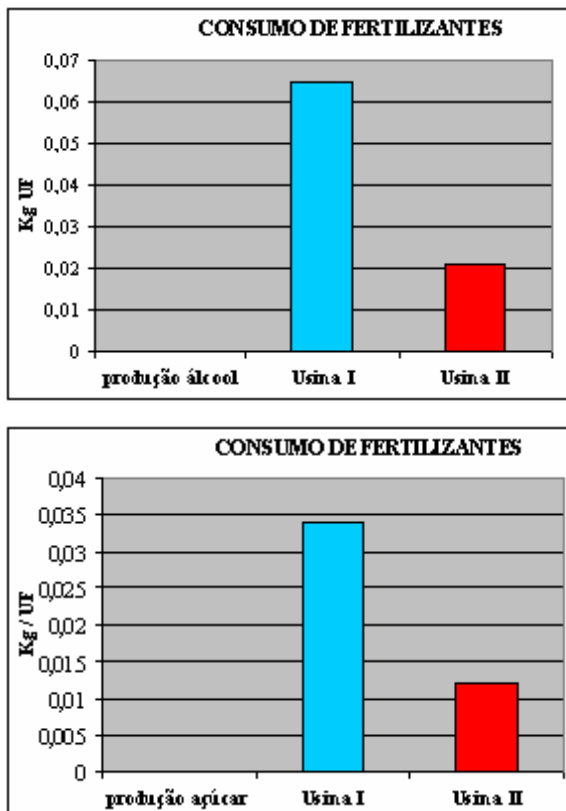


Figura 5. 3 – Consumo de fertilizantes por UF (álcool e açúcar)

A perda de solo considerada neste estudo foi de 11,9 toneladas por hectare ano conforme ECOAGRI (2007). Resultando uma perda de 148,75 kg de solo por tonelada de cana-de-açúcar, ou utilizando a unidade funcional dos produtos álcool e açúcar tem-se respectivamente para as usinas I e II a seguintes perdas: 1,86 kg; 0,97 kg de solo para a usina I e 1,86 kg; 0,64 kg de solo para a usina II. Os cálculos encontram-se no memorial de cálculo apêndices 1 e 2, perda de solo.

O indicador de perda de solo deve ser avaliado considerando a produção em larga escala dos produtos álcool e açúcar, como é o caso do Brasil e do Estado de Mato Grosso do Sul que vem multiplicando em muito sua produção. Conforme UNICA (2006) tem-se que a perda de solo associado ao cultivo agrícola de cana-de-açúcar em uma área de 3,6 milhões de hectares – safra 2004/2005 no Brasil foi 42,8 milhões de toneladas de solo por ano.

Uso do solo área necessária para a produção de uma unidade funcional expresso em metro quadrado por unidade funcional, metro por litro de álcool ( $m^2 / l$ ) e metro quadrado por kilograma de açúcar ( $m^2 / kg$ ). Trata-se de um indicador importante, pois na avaliação de sustentabilidade dos biocombustíveis as culturas energéticas, destinadas a produção de

bioenergia, competem com as culturas produtoras de alimentos no que se refere a áreas agricultáveis (ULGATAI, 2001 apud PEREIRA 2008).

As usinas I e II produzem 80 toneladas de cana por hectare e 80 litros de álcool por tonelada de cana, portanto o valor encontrado de uso do solo para as duas usinas foi de 125 m<sup>2</sup> por tonelada de cana-de-açúcar, e 1,56 m<sup>2</sup> por litro de álcool produzido. Quanto ao uso do solo para produção de 1 kg açúcar a usina I necessita de 0,81 m<sup>2</sup>, a usina II 0,92 m<sup>2</sup>. Este indicador serve para comparar a produção de outras culturas destinadas a produção de álcool e açúcar. Andreoli & Souza (2006 apud PEREIRA 2008) comparam a eficiência da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil com a produção de milho nos Estados Unidos, o resultado indicou que a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar requer menor área do que a partir do milho.

O consumo médio de água necessário na etapa industrial para a produção de 1 litro de álcool e 1 kg de açúcar nas usinas I e II, conforme dados informados pelas usinas, são respectivamente 18,75 litros e 9,76 litros; 20,05 litros e 11,79 litros. Percebeu-se que a etapa agrícola tem menor consumo e ocorre mais pela fertirrigação. Enquanto que na etapa industrial por necessitar de grandes volumes para operar, em especial nas etapas de lavagem da cana, passando pelas moendas para extração do caldo, na embebição (reabsorção de água para diluição dos açúcares), até a alimentação da caldeira, diluição do mel, preparo da cal, filtros e centrífugas, processos nos quais a água pode ser reutilizada, mas geram efluentes contaminados que geralmente são tratados em lagoas de estabilização. As lavagens de pisos durante todo o processo podem contaminar a água, que podem ser também reutilizadas nos canaviais. Na Figura 5.4 está representado o indicador de consumo d'água para a produção das UF estudadas.

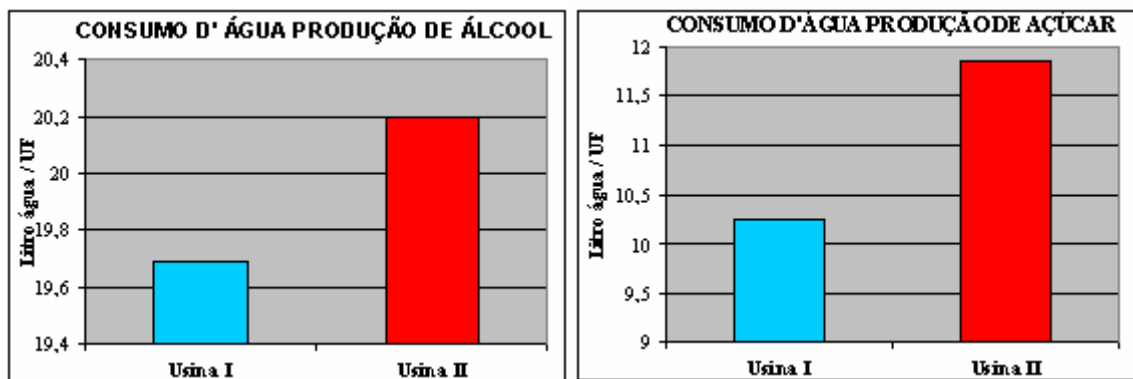


Figura 5.4 – Indicador de consumo d'água

Quanto aos dados encontrados na literatura pode-se observar que há uma diminuição significativa no consumo da água nas indústrias de 1990 com aproximadamente 5 metros cúbicos por tonelada de cana esmagada, para 2005 a mesma quantidade esmagada consumiu próximo de 1,8 metros cúbicos d'água (CTC, 2007). Neste trabalho o consumo médio nas usinas foi de 1,6 m<sup>3</sup> e 1,7m<sup>3</sup> d'água por TC processada, sendo que estes valores foram informados pelas usinas.

As diminuições do consumo pelas usinas podem ser alcançadas pela utilização de circuitos fechados para reutilização, ficando as perdas mais por evaporação e com a diminuição da prática da queimada da palha da cana na etapa agrícola "colheita", que provoca um maior consumo na etapa de "lavagem da cana" para posterior esmagamento.

O consumo de combustíveis em ambas usinas na etapa agrícola foi estimado, uma vez que a usina I forneceu este dado e para a usina II o valor fora estimado em função dos maquinários e equipamentos supostamente utilizados e revisão na literatura, Porém houve a preocupação em estimar o consumo na fase agrícola compreendendo plantio e colheita e na fase de transporte Incluindo aqui o transporte da cana-de-açúcar até a usina e distribuição do produto até os Centros de distribuição.

Este resultado permite uma avaliação de quais etapas do processo tem um maior consumo de combustíveis fósseis se na etapa de produção agrícola ou na etapa de produção e distribuição dos bens (açúcar e álcool). Portanto, permitindo uma inferência do sistema a níveis maiores de produção, a nível regional, estadual ou até nacional.

Com o resultado do estudo avaliou-se que a etapa agrícola é a que tem maior consumo de combustíveis fósseis por unidade funcional, tanto a usina I, quanto à usina II. Os volumes utilizados de combustível diesel para produzir UF de álcool e açúcar nesta etapa foram respectivamente para as usinas I e II: 0,0297 litro e 0,0154 litro; 0,0406 litro e 0,0239 litro. Como há uma diferença no quantitativo de colheita manual e mecanizada das usinas estudadas há uma diferença de consumo, que passa a ser maior com colheita mecanizada.

Enquanto que na etapa de transporte dos bens produzidos nas usinas deste estudo foram calculados os consumos de combustíveis para o transporte da TC do Canavial até a indústria e dos produtos álcool e açúcar até os CDs, utilizando a mesmo método anterior (combustível diesel para produzir UF de álcool e açúcar) os valores encontrados nesta etapa (transporte) foram respectivamente para as usinas I e II: 0,0091 litro e 0,0068 litro;

0,0081 litro e 0,00062 litro. O indicador de consumo total de combustível Diesel para a produção das UF dos produtos estudados está representado na figura 5.5 a seguir.

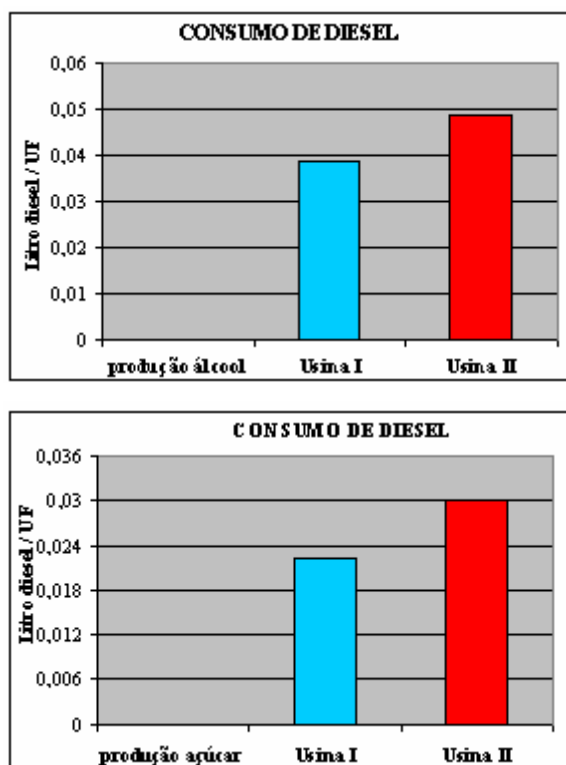


Figura 5.5 – Indicador de consumo de combustível diesel

Conforme Townsend (2000), vê se que para o plantio da cana-de-açúcar as mudas (propágulos), são de origem principalmente de canaviais de oito a 12 meses de idade, vigorosos e livres de pragas e doenças. Ainda, que as mesmas sejam submetidas a tratamentos preventivos, através da aplicação de fungicidas e inseticidas. Sendo o corte realizado rente ao solo, com as ponteiros retiradas. Durante as operações de corte, transporte e distribuição das mudas, deve-se evitar que as gemas venham ser danificadas. O plantio deve ser realizado de preferência, logo após o corte, pois estocagem maior do que quatro dias, pode comprometer a germinação. Conforme a variedade e as condições de plantio, serão necessárias de oito a 15 toneladas de mudas para cada hectare a ser plantado. Dados estes confirmados na pesquisa pois, os dados fornecidos pelas usinas I e II foram de: 150 kg / TC e 175 kg /TC colhida respectivamente. Encontra-se representado na figura 5.6 o indicador de consumo de mudas para as UF estudadas.

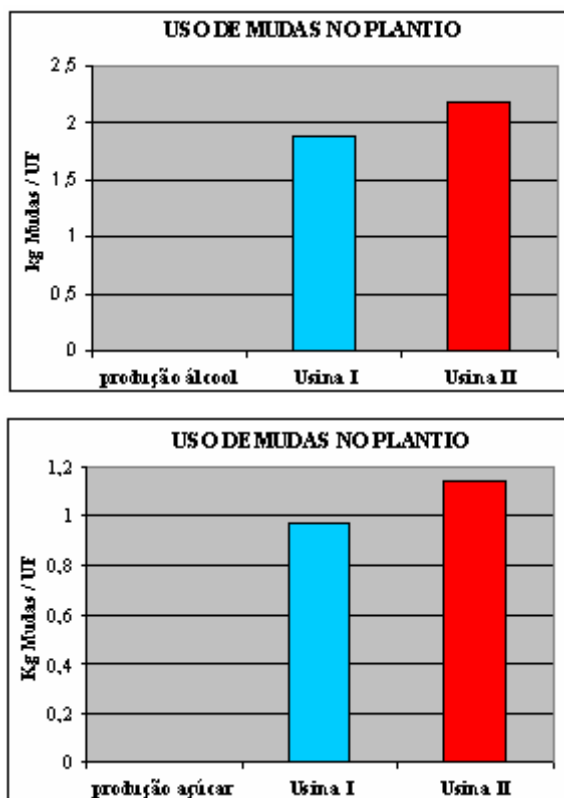


FIGURA 5.6 – Indicadores de consumo de mudas no plantio

A produção de bens e serviços, ações antrópicas, é responsável pelo consumo de materiais e recursos energéticos e pela geração de resíduos, ocasionando impactos ambientais. Os impactos considerados nas avaliações ambientais envolvem aspectos de alteração da saúde humana, degradação de ecossistemas locais, prejuízos ambientais globais e esgotamento de recursos naturais.

A descrição deste fluxo através da produção da unidade funcional permitiu colocar em evidência certas alterações ambientais (**categorias de impactos**) de cada processo elementar com sua contribuição.

Ainda não existe um método brasileiro para avaliação de impactos ambientais. Porém, para as modificações climáticas (aquecimento global) como para a redução da camada de ozônio, os modelos de avaliação de impactos são internacionalmente reconhecidos e são, portanto, idênticos para todos os métodos de ACV.

Enquanto que os impactos regionais e locais, para um mesmo tipo de emissão, os efeitos serão diferentes de acordo com a zona receptora. Os modelos utilizados para estes impactos devem, portanto, considerar as características dos meios receptores. Ainda, não existe um consenso sobre os modelos a utilizar para estas categorias.

Atualmente várias metodologias tem sido desenvolvidas para avaliar inventários de emissões específicas para regiões como por exemplo:

Na Europa têm-se as metodologias: IMPACTO 2002 + Jolliet et al. (2003); Eco-indicador 99 - Goedkoop & Spriensma (2001); CML - (*Centrum voor Milieukunde, Center for Environmental Science*) - Guinée et al. (2002), Dreyer et al (2003); EDIP 2003 - (*Environmental Design of Industrial Products*) - Hauschild et al. (2006); EPS (*Environmental Priority Strategies*) – Steen (1999). A linha européia a mais avançada tem hoje para uma mesma categoria de impactos, várias proposições de modelos de avaliação considerando as especificidades geográficas.

No E.U. as metodologias usuais são: TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*) - Bare et al. (2003); Canadá - LUCAS Toffoletto et al. (2006); e no Japão LIME (*Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling*) - Itsubo Inaba (2003). A linha japonesa concentra-se sobre um método baseado em conseqüências ambientais (*endpoints*). Portanto, há três grandes tendências relativas a esta problemática que são as linhas européias, americanas e japonesas.

A inexistência de um modelo adaptado a outras regiões do mundo especialmente para os países em desenvolvimento (Brasil, China e Índia) é considerada uma limitação científica da análise do ciclo de vida dos produtos.

O estudo das (USINA I e USINA II) considerou para avaliação, alguns impactos ambientais (local, regional e global) causados em função da produção de uma UF de cada produto. As categorias de impactos adotadas são aquelas que de alguma maneira são integradas pela maioria dos modelos de avaliação de impactos, bem como aquelas que são relacionadas ao processo.

Assim, após o inventário das principais emissões das usinas I e II e análise em quais categorias de impactos se enquadram. Foram selecionadas as seguintes categorias de impactos ambientais: uso de combustíveis fósseis (óleo diesel) – Esgotamento das reservas de combustíveis fósseis; consumo de água; aquecimento global (CO<sup>2</sup> e CO) acidificação e prejuízo à saúde humana (NO<sup>2</sup> e SO<sup>2</sup>), a produção das UF podem contribuir para outras categorias de impactos, porém não foram objetos deste estudo.

- **Esgotamento das reservas de combustíveis fósseis**

A disponibilidade dos recursos naturais pode variar com o tempo e as condições de gestão destes. As necessidades cada vez maiores da humanidade pelo desenvolvimento social e econômico exercem uma pressão muito grande sobre estes recursos, alterando o equilíbrio de vários ecossistemas do planeta.

O uso de combustíveis derivados do petróleo (óleo diesel) nas indústrias sucroalcooleira para produção das UF, está diretamente vinculado a este impacto ambiental, haja vista que as reservas de petróleo levam milhões de anos para se formarem (não renováveis dentro do tempo de vida humana) e o elevado consumo deste combustível considerando principalmente a etapa de produção agrícola da cana-de-açúcar.

Este impacto pode ser avaliado pelo modelo TRACI Bare et al. (2003 apud PEREIRA, 2004) por considerar combustíveis fósseis potencialmente causadores de impacto ambiental. Com as ilustrações da figura 5.7 representa-se graficamente o nível de contribuição das UF estudadas relativa ao potencial impacto por uso de combustível fóssil.

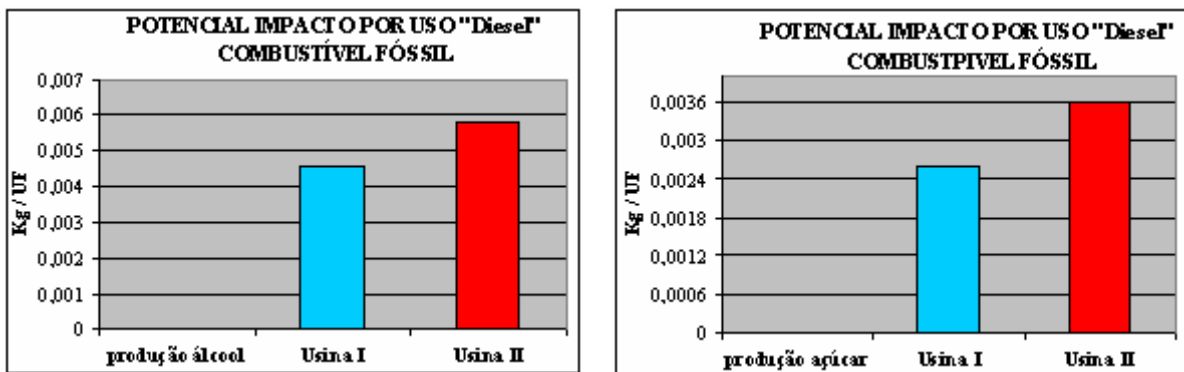


FIGURA 5.7 – Contribuição relativa ao Potencial Impacto Uso de Combustível Fóssil

- **Prejuízo a saúde humana (toxicidade humana)**

A saúde humana pode ser afetada por altas concentrações de poluentes que estão relacionadas com a maioria dos impactos causados aos ecossistemas ou impactos ambientais. Alguns poluentes quando diretamente em contato e, principalmente sendo por períodos prolongados causam prejuízos graves a saúde do homem.

Os principais gases poluentes, nas usinas I e II deste estudo, que afetam a saúde humana são os gases SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO que afetam o sistema respiratório e circulatório. O SO<sub>2</sub> ataca principalmente os brônquios, os óxidos nitrosos irritam os alvéolos pulmonares, causando problemas semelhantes a enfisema pulmonar e o monóxido de carbono é



altamente tóxico pois afeta a capacidade do sangue de transportar oxigênio, provoca distúrbios nervosos e de comportamento, assim como problemas no metabolismo do miocárdio.

Com as ilustrações da figura 5.8 representa-se graficamente o nível de contribuição das UF (álcool e Açúcar) relativa ao potencial de Toxidade Humana.

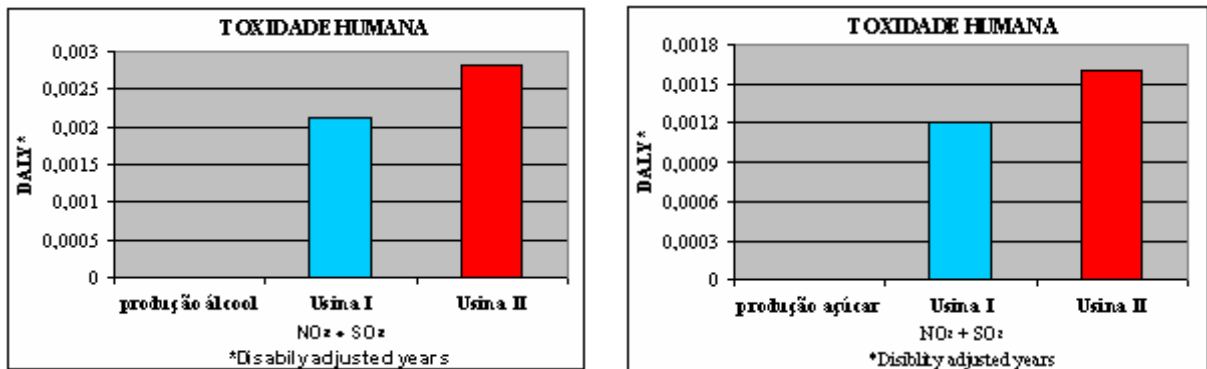


FIGURA 5.8 – Contribuição relativa ao Potencial de Toxidade Humana

- **Uso de água**

A água que constitui um bem essencial para a sobrevivência de todos os organismos torna-se a cada dia mais escassa em todas as regiões do planeta. O reaproveitamento deste recurso faz-se extremamente necessário, uma vez que as necessidades de consumo são diretamente proporcionais ao crescimento populacional e industrial. Na indústria sucroalcooleira, na etapa de lavagem da cana-de-açúcar foi observado um grande consumo de água. Podendo afetar principalmente as populações de entorno, a fonte de captação entre outros. O uso abusivo da água pode ser considerado como impacto local. A avaliação quantitativa deste impacto também pode ser feita pela aplicação do modelo TRACI. Com as ilustrações da figura 5.9 representa-se graficamente o nível de contribuição das UF (álcool e Açúcar) relativa ao potencial esgotamento de recursos naturais (água).

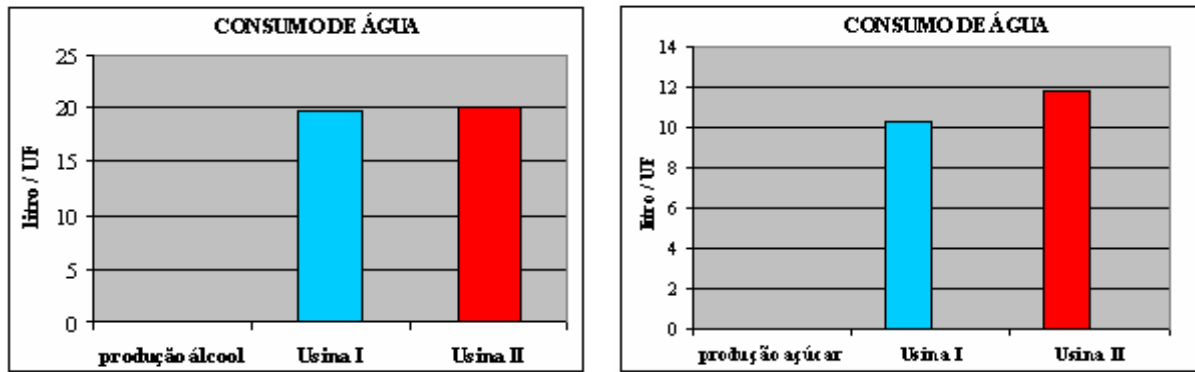


FIGURA 5.9 – Contribuição relativa ao Potencial de Esgotamento de Recursos Naturais

- **Aquecimento Global – emissões e Ciclo de CO<sub>2</sub>**

As mudanças climáticas preocupam mundialmente todos os habitantes da terra, principalmente entre pesquisadores e cientistas, pois estas mudanças afetam os ecossistemas e a atividade humana em todo o planeta. Pesquisadores afirmam que a principal causa destas mudanças é decorrente do elevado nível de gases poluentes (ozônio, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e monóxido de carbono) resultante da queima de combustíveis fósseis, ainda a maior matriz energética do sistema produtivo mundial. (derivados de petróleo, gás natural, carvão, entre outros). Sua emissão em grandes concentrações alarga a camada destes gases no entorno da terra provocando o aquecimento da terra. Estes gases são essenciais ao bem-estar climático do planeta, desde que suas concentrações se mantenham em equilíbrio natural. Contudo, a atividade humana, em especial a incrementada e intensificada com a Revolução Industrial, passou a interferir significativamente nesse equilíbrio.

Apesar do “efeito estufa” ser conhecido pela população como algo maléfico, trata-se de um fenômeno natural que favorece a proliferação da vida no planeta Terra. O efeito estufa tem como finalidade impedir que a Terra esfrie demais, caso a Terra tivesse a temperatura muito baixa certamente não teríamos tantas variedades de vida. Contudo, uma série de estudos realizados por pesquisadores e cientistas, principalmente no século XX, têm indicado que as ações antrópicas (ações do homem) têm agravado esse processo por meio de emissão de gases na atmosfera, responsáveis pelo alargamento da camada “efeito estufa”, especialmente o CO<sub>2</sub>.

As queimadas do canavial antes da colheita com a finalidade de facilitar a colheita manual acarretam a emissão de gases como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, que são responsáveis pelo

fenômeno “efeito estufa”, esta prática vem sendo reduzida e passará a obrigatória por força de legislação, sendo percebida como um fator mitigador de emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, tem-se em Lima et al.(2001) que as emissões oriundas da queima da cana para colheita não são consideradas emissões líquidas, pois são re-absorvidas no próximo ciclo e o carbono que não foi emitido na forma de CO<sub>2</sub>, presente na palha que fica depositada e é incorporada ao solo, também será reciclado nos próximos ciclos produtivos.

A eliminação da queima apresenta alguns benefícios quanto aos impactos ambientais mitigados, como a cobertura do solo evitando a erosão, propicia o desenvolvimento de microflora de decomposição da palha melhorando a fertilidade do solo bem como o controle de ervas daninhas, resultando no emprego menor de herbicidas (PEREIRA , 2008).

Há que se destacar, entretanto, que a eliminação da queima apresenta alguns benefícios.

A cobertura do solo devido à deposição da palhada resulta em diminuição da erosão, pois a palha impede a ação direta dos ventos e da chuva (Furlani Neto et al., 1997), portanto diminuindo este impacto ambiental e também diminuindo as emissões devido à oxidação do solo. Da mesma forma, a cobertura de solo com a palha propicia desenvolvimento de microflora de decomposição da palha melhorando a fertilidade do solo, bem como o controle de ervas daninhas, fato que permite a diminuição do uso de fertilizantes e de herbicidas (Primavesi, 1987; Campos, 2003), diminuindo as emissões associadas a estes materiais. Entretanto, esta diminuição não deve ser considerada como um fator de mitigação, porém com uma melhora do sistema produtivo e será refletido no desempenho deste sistema frente a outros sistemas.(PEREIRA, 2008, p.147)

Observou-se que a etapa agrícola o sistema produtivo é altamente dependente em combustíveis fósseis, portanto tem grande participação nas emissões de gases poluentes. O cultivo é tanto uma fonte emissora como mitigadora de CO<sub>2</sub>. A mitigação pode ocorrer pela fixação do carbono via material orgânico no solo. Porém, o grande volume de óleos combustíveis que são utilizados pelos equipamentos, máquinas e veículos para o plantio, transporte de mudas, fertilizantes, herbicidas, entre outros faz desta etapa a grande emissora de gases poluentes deste sistema, e que por estar mais distante dos centros urbanos passa menos percebida.

Com os resultado dos cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> para a usina I que encontra-se na tabela 5.1. Avaliou-se que a etapa agrícola é responsável por aproximadamente 82% das emissões de CO<sub>2</sub> do sistema. O transporte como processo elementar do sistema é responsável por 17%. Quanto à etapa industrial (não analisada), por falta de dados, mas que através das revisões na literatura percebeu-se que a média é aproximadamente 3% das emissões totais do sistema. Com o resultado ratifica-se que nesta etapa é onde ocorre maior emissões de CO<sub>2</sub>. O que ocorre devido ser grande o número de máquinas, equipamentos utilizados nesta fase que consomem combustíveis fósseis, não foi incluídos as emissões provenientes da queimada para colheita.

A queimada da cana antes da colheita com a finalidade de facilitar a colheita manual é responsável pela emissão de CO<sub>2</sub>. Sua redução vem se tornando obrigatória por força da Lei, que entende ser um fator de mitigação de emissões. Entretanto, conforme Lima et al.(2001) as emissões das queimadas não são consideradas como emissões líquidas, por serem re-absorvidas no próximo ciclo e o carbono não emitido na forma de CO<sub>2</sub>, presente na palha que fica no solo é incorporada a este, e será reciclado nos próximos ciclos produtivos.

Concordando com os autores Lima et al. (2001) pôde se observar que a eliminação da queimada propicia inúmeros benefícios, tais como: a cobertura do solo com a deposição da palha que resulta em menor erosão; menor ação direta dos ventos e da chuva sobre o solo, diminuindo as emissões de oxidação do solo; desenvolvimento de microflora de decomposição da palha resultando em melhor fertilidade do solo.

Tabela 5.1 – Balanço das emissões de CO<sub>2</sub> para usina I

Etapa	Kg CO <sub>2</sub> / ha	Kg CO <sub>2</sub> / TC	Kg CO <sub>2</sub> / l álcool	Kg CO <sub>2</sub> / kg açúcar	% Total
Agrícola: consumo de diesel p / UF	205,6	2,57	0,080	---	18,00
produção de álcool	309,6	3,87	---	0,042	27,12
produção de açúcar	428,4	5,36	0,07	0,035	37,52
Oxidação do solo					
Total Agrícola	<b>943,6</b>	11,8	0,15	0,077	82,64
Transporte: Canavial usina	43,20	0,54	0,017	---	3,79
	67,20	0,84	---	0,0092	5,88

	20,55	0,25	0,008	---	1,80
Usina Centro de Distribuição	67,20	0,84	---	0,0092	5,88
Total transporte	<b>198,15</b>	2,47	0,025	0,0184	17,35
Total	<b>1141,75</b>	<b>14,27</b>	<b>0,175</b>	<b>0,095</b>	100

Os resultados do cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> para a usina II estão apresentados na Tabela 5.2. Com os valores obtidos percebeu-se que a etapa agrícola é responsável por aproximadamente 87% das emissões de CO<sub>2</sub> do sistema. O transporte da cana é responsável por 12 % a etapa industrial (não analisada), por falta de dados, mas que através das revisões na literatura percebeu-se que a média é aproximadamente 3% das emissões totais do sistema.

Tabela 5.2: Balanço de emissões de CO<sub>2</sub> para usina II

Etapa	Kg CO <sub>2</sub> / ha	Kg CO <sub>2</sub> / TC	Kg CO <sub>2</sub> / l álcool	Kg CO <sub>2</sub> / Kg açúcar	% Total
Agrícola: consumo de diesel p / UF					
produção de álcool	239,2	2,99	0,11	---	18,60
produção de açúcar	458,4	5,73	---	0,064	35,64
Oxidação do solo	428,4	5,36	0,07	0,039	33,31
<b>Total Agrícola</b>	<b>1126</b>	<b>14,08</b>	<b>0,18</b>	<b>0,10</b>	<b>87,55</b>
Transporte: Canavial usina	30,40	0,38	0,014	---	2,36
	56,00	0,70	---	0,0083	4,35
Usina Centro de Distribuição	17,60	0,22	0,008	---	1,36
	56,00	0,70	---	0,0083	4,35
<b>Total transporte</b>	<b>160</b>	<b>2</b>	<b>0,022</b>	<b>0,016</b>	<b>12,44</b>
<b>Total</b>	<b>1286</b>	<b>16,08</b>	<b>0,202</b>	<b>0,117</b>	<b>100</b>

Como ocorreu com a usina I, o resultado da etapa agrícola tem maior emissões de CO<sub>2</sub>, que ocorre também, devido ao grande número de máquinas, equipamentos utilizados nesta fase que processam combustíveis fósseis, não foram incluídos as emissões provenientes da queimada para colheita. As considerações sobre as queimadas são idênticas às comentadas para usina I, portanto não serão aqui comentadas.

- **Considerações sobre as emissões de veículos**

Observou-se que o resultado de consumo de combustível do veículo da usina I com rendimento de 1,88 km/l embora, inferior ao do veículo da usina II – 4,02 km/l, apresentou um rendimento melhor para produzir uma unidade funcional de cada produto. O Veículo da usina I trabalhou com mais carga o que explica e seu melhor Rendimento Energético (RE).

A quantidade de litros de combustível consumida é extremamente importante nos custos operacionais e está relacionada diretamente com a distância percorrida e a quantidade de carga transportada, muitas usinas vêm adotando como parâmetro de medição o Rendimento Energético. Com o Rendimento Energético (RE), pode-se comparar essas variáveis e criar um índice para analisar os resultados da frota. Um veículo que apresenta maior consumo de combustível, o seu custo é maior para a usina, porém, se ele transportar mais carga, pode compensar. Para calcular o Rendimento Energético, deve-se multiplicar o Peso Médio de Carga Transportada pelo consumo de combustível (km/l). Logo,  $RE = \text{Tonelada Média Transportada} \times \text{km/l}$ . Dois veículos que possuem a mesma média de consumo de combustível, porém com pesos distintos, certamente o que transportou maior carga representa menor custo operacional, conseqüentemente menor emissão de CO<sub>2</sub>.

Com as ilustrações da figura 5.10 representa-se graficamente o nível de contribuição das UF estudadas relativa ao potencial de aquecimento global.

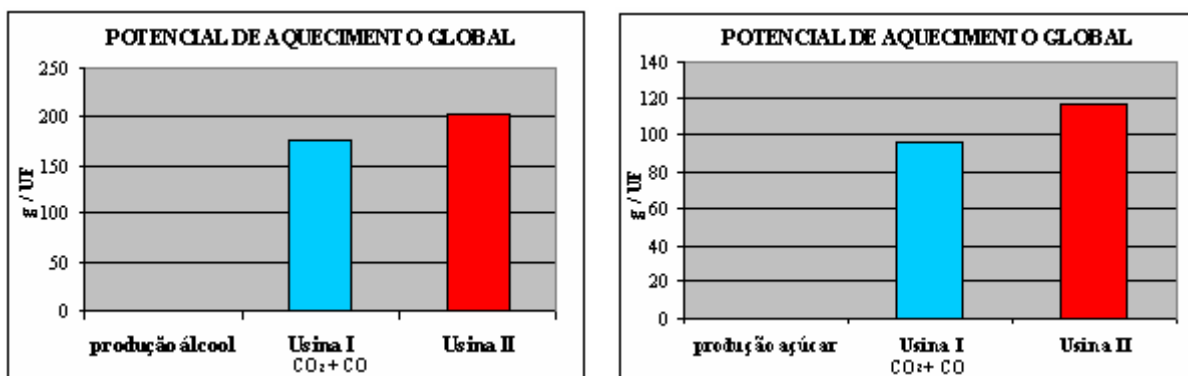


FIGURA 5.10 – Contribuição relativa ao Potencial de Aquecimento Global

- **Acidificação**

A acidificação do ambiente é um dos resultados da poluição atmosférica ocorre pela deposição dos ácidos causando danos imediatos ao homem, plantas animais, materiais, artes, construções, entre outros.

Acidificação é a deposição de ânions provenientes de fenômenos de lixiviação ou de processos bioquímicos, o que deixa um excesso de íons  $H^+$  no sistema. A deposição pode se feita de três maneiras segundo (POTTING et al., 2002 apud PEREIRA, 2004):

- Úmida (chuva, neve, etc.);
- Seca (deposição direta de (partículas) acidificantes sobre o solo; sobre a vegetação; e sobre a superfície da água); e
- Água das nuvens (depois a água contida nas nuvens e o nevoeiro sobre a vegetação ou solo).

As emissões antrópicas de dióxido enxofre ( $SO_2$ ), óxido de enxofre ( $SO_x$ ), óxido de nitrogênio ( $NO_x$ ) e as emissões de amoniacais, são os responsáveis pela chuva ácida, neve, poeira ou gás. Assim, todas estas formas de deposição, secas ou úmidas, são conhecidas e aceitas como “chuva ácida”, reconhecida mundialmente por poluição atmosférica.

No caso das indústrias sucroalcooleiras – usina I e II deste estudo observou-se a emissão dos gases  $NO_x$ ,  $SO_x$  que apresenta pequena contribuição para esta categoria de impacto ambiental.

Com as ilustrações da figura 5.11 representa-se graficamente o nível de contribuição das UF estudadas relativa ao potencial de acidificação.

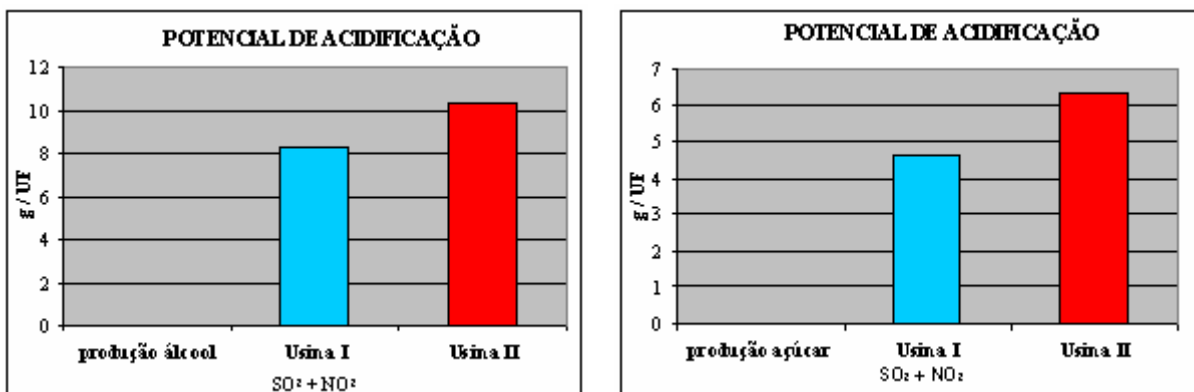


FIGURA 5.11 – Contribuição relativa ao Potencial de Acidificação

O modelo por categoria de impacto adotado neste estudo está baseado no método TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*), Bare et al (2003 apud PEREIRA, 2004) em que cada categoria de impacto teve os valores de referência do inventário das Usinas I e Usina II normalizados pelo valor de equivalência do modelo. Ilustra-se no quadro 5.5 os critérios adaptados do modelo.

Quadro 5.5 – Quadro de categoria de impactos

IMPACTO	MEIO	CAUSADOR	FATOR DE EQUIVALÊNCIA	USINA I		USINA II	
				álcool	açúcar	álcool	açúcar
Acidificação	Ar	Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	40,04 mol <sub>eq</sub> H <sup>+</sup> / Kg NO <sub>2</sub>	3,6436	2,0402	4,5245	2,8028
Acidificação	Ar	Dióxido de enxofre SO <sub>2</sub>	50,79 mol <sub>eq</sub> H <sup>+</sup> / Kg SO <sub>2</sub>	4,6218	2,5902	5,7392	3,5553
Aquecimento Global	Ar	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1	175	95	202	116
Aquecimento Global	Ar	Monóxido de Carbono (CO)	2	1,098	0,622	1,366	0,844
Toxicidade humana	Ar	Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0,010073232 Dalys <sup>11</sup>	0,0009	0,0005	0,0013	0,0007
Toxicidade humana	Ar	Dióxido de Enxofre SO <sub>2</sub>	0,013908029 Dalys	0,0012	0,0007	0,0015	0,0009
Uso de água	Não específica do	água	1	19,68	10,25	20,18	11,86
Combustível fóssil	Não específica	Óleo (diesel)	0,144	0,0046	0,0026	0,0058	0,0036

<sup>11</sup> DALYs "conta de anos de vida perdidos e de anos vividos com uma deficiência, ajustado para a gravidade dos associados desfavoráveis condições de saúde", devido à realização poluentes na saúde humana (LIPPIATT, 2002 apud SIBELI, 2004).



(uso)	do						
-------	----	--	--	--	--	--	--

Fonte: Adaptado modelo TRACI

Normalmente após a normalização são feitos o agrupamento e a ponderação estas três etapas da Avaliação de impactos do ciclo de vida são opcionais e conforme Coltro (2007, p. 10) não são recomendadas no caso de estudos brasileiros devido à falta de padrões nacionais.

O agrupamento consiste na atribuição das categorias de impacto a um ou mais grupos, ou seja, na classificação por magnitude ou importância, enquanto a ponderação é feita quando os resultados dos diferentes impactos são convertidos a uma mesma base empregando-se fatores numéricos e convertendo os resultados em um único número.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das usinas I e II, hipoteticamente criadas com dados de referência bem próximos da realidade vivenciada pela maioria das usinas sucroalcooleira no estado de Mato Grosso do Sul, permitiu a avaliação ambiental do sistema de produção relativo ao consumo de recursos naturais e emissões que contribuem para impactos ambientais globais, regionais e locais por unidade funcional (UF) produzida.

Com o trabalho pôde-se como proposto no objetivo conceituar análise do ciclo de vida que diante das interferências antrópicas no meio ambiente surgiu à questão “Como avaliar os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas?”. Após vários encontros e conferências mundiais ficou estabelecido que a avaliação ambiental deveria ser feita pela alocação de fatores impactantes em categoria de impacto ambiental. Que passou a utilizar esta metodologia “Análise do Ciclo de Vida” ACV.

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que estabelece uma visão geral das consequências ambientais na manufatura, uso e descarte de um produto, através do seu ciclo de vida desde a sua produção até a disposição final. No Brasil, como se pôde perceber no estudo a ACV ainda não é uma ferramenta muito difundida. Pouquíssimas usinas

sucroalcooleira utilizam-se dessa ferramenta, no estado de Mato Grosso do Sul não há registro de nenhuma usina que adota ou adotou este estudo. No entanto, a partir da publicação das Normas série ISO 14.000, de políticas ambientais e exigências de mercado é possível que passem a utilizar desta ferramenta para subsidiar decisões deste processo produtivo.

A caracterização das fases da análise do ciclo de vida dos produtos e os procedimentos metodológicos para levantar dados de interesse ambiental associada à produção da UF, definida no escopo e objetivo deste trabalho foi possível através de revisão bibliográfica, que permitiu o critério para atribuir valores atualizados aos dados e informações que não se dispunha, para efetuar os cálculos pertinentes ao trabalho.

Quanto à identificação dos impactos ambientais da indústria sucroalcooleira foi possível através da compilação das entradas e saídas de cada etapa levantar os principais elementos ou substâncias que ao serem emitidos ou descartados ocasionam algum dano ao meio ambiente e relacioná-los com as categorias de impactos normalmente usados em ACV, conforme foi ilustrado no quadro 5.5 – categorias de impactos. Os resultados apresentados neste trabalho podem ser posteriormente utilizados para subsidiar outros estudos, bem como para comparar com outros produtos que desempenhem a mesma função por unidade funcional.

Assim, pode-se notar a importância da Análise do Ciclo de Vida da atividade sucroalcooleira no estado de Mato Grosso do Sul, principalmente pelo fato que a meta para os próximos anos é que as 32 usinas que estão em processo de instalação no estado estarão em operação e a previsão com a chegada das novas usinas é que a produção salte para 7 milhões m<sup>3</sup> de álcool/ano e 9 milhões de tonelada de açúcar/ano.

Com relação à avaliação do ciclo de vida, recomenda-se que este estudo seja repetido e que possa ser validado os dados com usinas em operação no estado para que haja a confirmação dos dados, assim como, recomenda-se a utilização dos dados do inventário para um estudo mais aprofundado, onde possam ser avaliadas as demais etapas não consideradas neste estudo (co-geração de energia, e outros subsistemas), além da aplicação de outros modelos de avaliação de impactos.

Finalizando, os resultados fornecem subsídios que do ponto de vista acadêmico, gerar novos conhecimentos, permitiu o desenvolvimento de indicadores associados à indústria sucroalcooleira que podem ser utilizados em outros trabalhos de avaliação

ambiental, contribuindo para melhorar o desempenho ambiental e qualidade de vida do nosso planeta.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS, USEPA. and Science Applications international Corporation. **LCAccess – LCA 101. 2001.** Disponível em: <[Http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca\\_101.htm](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca_101.htm)>. Acesso em: 12 mai. 2008, 15:30:00.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Nota técnica 011/2007 – SCM. **Panorama atual da Indústria Brasileira de álcool combustível: Avaliação de arcabouço regulatório da ANP referente á movimentação do produto.** Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/doc/petroleo/NotaTecnica\\_11\\_2007.pdf](http://www.anp.gov.br/doc/petroleo/NotaTecnica_11_2007.pdf)> Acesso em: 19 ago 2008, 16:00:00.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. 22p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10520:** informação e documentação - citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14000.** Organização Internacional para Padronização. Normas para a gestão ambiental nas empresas. ABNT, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14001**. Organização Internacional para Padronização. Sistema de Gestão Ambiental: especificações e diretrizes para o uso. ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e diretrizes. Brasil: ABNT. 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14041**: Gestão Ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Definição do objetivo e escopo e análise de inventário. Brasil: ABNT. 25 p, maio. 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14042**: Gestão Ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Avaliação do impacto. Brasil: ABNT, 2004.

BARRETO, Rafael Justus. **Incorporação da avaliação do ciclo de vida ao projeto do produto**. Curitiba, PR: [s.n.], 2007.147 p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR).

BARROS. Rubens Pessoa. **Estudo dos efeitos da adição de vinhaça em solos utilizados pela cultura da Cana-de-acúcar** (*Saccharum* sp.). Projeto de Pesquisa para a Elaboração da Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas do NEREN – Núcleo de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFS – Universidade Federal de Sergipe, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – IBAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA - Data da legislação: 23 jan.1986. Publicado no Diário Oficial da União em 17 fev. 1986, Seção 1, 2548:2549 p.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente – IBAMA. Resolução nº 315, de 20 de novembro de 2002. Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE - Data da legislação: 29 out. 2002 - Publicação D.O.U. nº 224, de 20 nov. 2002. 90-92 p.

CABRINI, M.F.; MARJOTTA-MAISTRO, M.C. Mercado Internacional de Álcool: **Os Recentes Programas de Uso do Produto como Combustível**. CEPEA, SP, mimeo, 2007. Disponível em:

<[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Artigo\\_Alcool\\_export.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Artigo_Alcool_export.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2007, 14:15 horas, MS.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. (CTC, 2007) Disponível em:

<<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2008, 19:35:00.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 1998. 104 p.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **A moderna agroindústria brasileira**. Disponível em:

<<http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/modernaagroind.asp>>. Acesso em: 12 jun. 2008, 14:25:00.

\_\_\_\_\_. **Cana-de-açúcar - Composição média da cana-de-açúcar**. Disponível em: <[http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana\\_acucar.asp](http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp)>. Acesso em: 12 jun. 2008, 14:25:00.

COLTRO, Ieda. (Org.). **Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão**. Campinas, SP: CETEA / ITAL, [on-line], 2007. 75 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003**. São Paulo: CETESB, 2004b. (Série Relatórios).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. primeiro levantamento. abr. 2008. Brasília: CONAB. 2008. 12 p.

CURRAN, Mary Ann. **Environmental Life Cycle – Assessment**. New York. McGraw-Hill, 1996, 432 p.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SÓCIO ECONÔMICOS – DIEESE. **Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores**. Fev. 2007. Ano 3. nº 30 –Disponível em: <[http://www.observatoriosocial.org.br/arquivos\\_biblioteca/conteudo/1947estpesq30\\_setorSucroalcooleiro.pdf](http://www.observatoriosocial.org.br/arquivos_biblioteca/conteudo/1947estpesq30_setorSucroalcooleiro.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2008, 19:30:00.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA AGRICULTURA NO ESTADO DE SÃO PAULO ECOAGRI. – **Bases para um Desenvolvimento Rural sustentável**, 2007. Disponível em: <<http://ecoagri.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 12 set 2008, 16:05:00.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Considerações sobre o impacto ambiental das queimadas da palha de cana-de-açúcar**, São Paulo. SP: [s.n.], abr.1997. 21 f., (circular técnica Nr 2).

\_\_\_\_\_. (2008). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**, São Paulo, SP: 2008. 84 f., (Revista ago).

FARINA, Elizabeth M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, Decio. **Competitividade no Agrobusiness Brasileiro**. Sistema agroindustrial da cana-de-açúcar. Sistema agroindustrial da soja. PENSA/FIA/FEA/USP. São Paulo, SP: 1998.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Avaliação de Ciclo de vida do Produto**. Instituto Politécnico de Viseu. Doutor em Engenharia do Ambiente FCT/UNL. Coordenador da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Campus Politécnico de Repeses (ESTV/IPV). São Paulo, SP: [s.n.], 2004. 80 p.

FIQUEIREDO, R. **Gargalos logísticos na distribuição de combustíveis brasileiros**. Disponível em: <<http://joomla.coppead.ufrj.br>>. Acesso em: 20 nov 2008.

GARDINI, André. Novas fronteiras agrícolas da cana. ComCiência. Revista eletrônica de jornalismo científico Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=23&id=253>>. Acesso em 14 Set 2008, 16:35:00.

GUATARI, Felix. **As três ecologias**. Tradução Maria Cristina F. Bittencourt. Campinas, SP: Papirus, 1990. 56 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Comunicação Social de 08 janeiro de 2008. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_impressao.php?id\\_noticia=1068](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=1068)>.

Acesso em: 02 jul. 2008, 16:15:00.

\_\_\_\_\_. **Indicadores IBGE** Estatística da Produção Agrícola setembro de 2008. Brasília, DF: 2008, IBGE, 34 p.

JENSEN, Allan Astrup. Life Cycle Assessment (LCA). A Guide to approaches, experiences and information sources. **Environmental Issues Series/nº 6**. European Environment Agency. United Kingdom: 1997.119 p.

LAKATOS, Eva Maria. **Sociologia geral**. 6. ed. São Paulo, SP: Atlas, 1995.

LANZOTTI, Carla Regina. **Uma análise emergética de tendências do setor sucroalcooleiro**. Campinas, SP: [s.n.], 2000, 106 f.. Dissertação (mestrado da Universidade Estadual de Campina – Ficha Catalográfica BAE UNICAMP – L 299<sup>a</sup>).

LEMOS, Haroldo Mattos. **As Normas ISO 14000 – SC5 Avaliação do Ciclo de vida**.

Disponível em: <[http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/saibamais\\_iso14000.htm](http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/saibamais_iso14000.htm)>.

Acesso em: 28 set. 2007, 20:25:00.

LIMA, U. A.; Aquarone, E.; Borzani, W.; Schmidell, W.; **Biotecnologia Industrial. Processos Fermentativos e Enzimáticos**. São Paulo, SP. Edgard Blücher. 2001. 3v.



MATO GROSSO DO SUL (Estado). **1º Encontro Nacional dos Fiscos Estaduais no Centro Oeste**. 12 a 14 set 2009. Palestra ministrada pelo governador do Estado. “Mato Grosso do Sul – Rumo ao Desenvolvimento”. 12 set 2009. (47 slide Power point) Pen drive.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Brasil). **Serviço de Apoio à Produção mais Limpa**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/8005.html>>. Acesso em: 24 set. 2007, 16:45:00.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Acompanhamento da Produção Sucroalcooleira**. (MAPA, 2007) Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 02 jul. 2008, 14:00:00.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da produção sucroalcooleira Safra 2007 / 2008**. Disponível em: < [http://mapas.agricultura.gov.br/spc/daa/Resumos/Agosto07-08b\\_2.pdf](http://mapas.agricultura.gov.br/spc/daa/Resumos/Agosto07-08b_2.pdf)> Acesso em: 14 set 2008, 13:40:00.

MOURAD, A.N.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e aplicações**. CETEA/ITAL : Campinas, SP: [s.n.], 2002. 92 p.

OMETTO, A. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível, pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. São Paulo, Sp: [s.n.], 2005. Dissertação (doutorado Universidade São Carlos).

PEREIRA, Consuelo de Lima Fernandes. **Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais**. Estudo de caso: suco de laranja e etanol. Campinas, SP: [s.n.], 2008. 268 f. Tese (doutorado – Universidade Estadual de Campinas, faculdade de Engenharia de Alimentos).

PEREIRA, Sibeli Warmling. **Análise Ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida.** Florianópolis, SC: [s.n.], 2004. 121f. Dissertação (Mestrado do programa de pós Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina).

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIA. (RMAI). **Artigo sobre a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida.** São Paulo, SP: Tocalino. Ed. 40, nº 39, Nov./Dez. 2002. 52 p.

RIBEIRO, Flavio de Miranda. **inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação.** São Paulo, SP: [s.n.], 2003. 456f. Dissertação (Mestrado do programa Interunidades de pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo) PIPGE/USP. Disponível em:  
<<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2003/Teses/MestradoFI%E1vio.pdf>>. Acesso em: 22 set 2007, 16:15:00.

SANTOS, Luciano Miguel Moreira dos. **Avaliação Ambiental de Processos Industriais.** Ouro Preto, MG: ETFOP, 2002, p.177.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, DA PRODUÇÃO, DA INDÚSTRIA DO COMÉRCIO E DO TURISMO. **Programa: Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro.** Disponível em:  
<<http://www.seprotur.ms.gov.br/index.php?inside=1&tp=3&comp=1768&show=977>>.  
Acesso em: 14 ago. 2008, 16:00:00.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **O Novo Ciclo da Cana:** Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-

açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Brasília, DF: IEL/NC. SEBRAE, 2005. 337 p., 23 cm.

SILVA, João Eduardo Azevedo Ramos da. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. São Paulo, SP: 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado do programa de Pós-graduação em engenharia de produção / Universidade Federal de São Carlos).

TOWNSEND, Claudio Ramalho. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. Nota técnica, nº 21 nov. 2000. 1-5 p. Disponível em: <[http://www.cpafrro.embrapa.br/Pesquisa/public/2000/past\\_forrag/Rt\\_21.PDF](http://www.cpafrro.embrapa.br/Pesquisa/public/2000/past_forrag/Rt_21.PDF)> Acesso em Set 2008, 15:35:00.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo, SP: Atlas, 1987.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Moagem de cana cresce em novembro e a safra é a “mais alcooleira” dos últimos anos**. Disponível em: <[www.unica.com.br/download.asp?rlsCode=CDAB30EF-3EC9-4313-B31DF2D26331693C](http://www.unica.com.br/download.asp?rlsCode=CDAB30EF-3EC9-4313-B31DF2D26331693C)>. Acesso em: 04 jul. 2008, 19:20:00.

\_\_\_\_\_. **Sustentabilidade e meio ambiente**. (ÚNICA, 2006). Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={0C8534A8-74A7-4952-8280-C5F6FB9276B7}>>>. Acesso em : 12 ago. 2007, 15:00:00.

VEIGA, José Eli da. **Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Senac, 2006. 181 p., v.5.

XAVIER, José Humberto Valadares. **Análise de Ciclo de vida (ACV) da produção agrícola familiar em UNAÍ – MG: resultados econômicos e Impactos Ambientais.** Brasília, DF: [s.n.], 2003. 149 p. Dissertação (mestrado da UnB – Centro de Desenvolvimento Sustentável. Mestre, política e Gestão de C & T).

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE 1 – DADOS DA USINA I

Foram levantados os seguintes dados em bibliografias e coletados a usina I anônima no estado do Mato Grosso do Sul:

1. Dados da propriedade agrícola:

- Região: Mato Grosso do Sul
- Produção: 80 TC / ha.a.
- Área total do canavial: média de 4 usinas, sendo o valor de 14.430 hectares;

Total de Cana moída: 1.154.400 TC / ano

- Produção de álcool: 40.15% da TC moída.
- Safra: 210 dias de colheita
- Fertirrigação: não informado
- Álcool: 32,12 l / TC
- Açúcar: 92,050 kg / TC x ano
- Bagaço: 289,28 kg / TC esmagada
- Torta de filtro: 41,19 kg/ TC
- Vinhaça: 481,84 l / TC
- Lodo, cinzas, palha, etc.: 210,31 kg/ TC
- Águas residuárias: 1,2 m<sup>3</sup> / TC
- Eletricidade: 68,7 KWh
- Vapor: 636,41 kg / TC

2. Dados do transporte da cana-de-açúcar:

- Cana transportada a granel (1.154.400 TC)
- Caminhão: com capacidade para transportar carga 60 toneladas.
- Distância do canavial até a usina de 30 km (ida e volta) = 60 km

3. Transporte do Álcool à Distribuidora

- Total de álcool a serem transportados 37.079.328 litros.
- Caminhão: com capacidade de transportar 35.000 litros.
- Rendimento médio de 3,57 km/l
- Distância da Usina até a distribuidora de álcool: 180 km. (Ida e volta) = 360 km

4. Transporte do açúcar à distribuidora

- Total de açúcar a serem transportados 106.192.621,10 quilogramas.
- Caminhão: com capacidade de transportar 30 toneladas
- Rendimento médio de 3,57 km/l
- Distância da Usina até a distribuidora de álcool: 180 km. (Ida e volta) = 360 km

5. Memorial de cálculo da **Usina I**

Cana-de-açúcar – produção de 1 litro de álcool

$$1000\text{kgC} / 80\text{l} = 12,5 \text{ kgC}$$

Cana-de-açúcar – produção de 1kg de açúcar

$$1000\text{kgC} / 153,8 \text{ kg} = 6,5 \text{ kgC}$$

- **Combustível etapa Agrícola**

Dados:

$$2,375 \text{ l} / \text{TC}$$

$$1 \text{ ha} = 80 \text{ TC}$$

$$1 \text{ TC} = 80 \text{ l de álcool}$$

$$1 \text{ TC} = 153,8 \text{ kg de açúcar}$$

Cálculos

$$2,375 / 80 = \mathbf{0,02968 \text{ l diesel} / \text{l álcool}}$$

$$2,375 / 153,8 = \mathbf{0,0154 \text{ l diesel} / \text{l açúcar}}$$

$$1 \text{ ha} = 80 \text{ TC} \Rightarrow 80 \times 2,375 = 190 \text{ l} / \text{ha}$$

- **Consumo de combustível para transporte canavial usina (l de diesel / l de álcool)**

Dados:

$$\text{Rendimento médio veículos} = 0,53 \text{ l} / \text{TC}$$

$$\text{Quantidade de cana-de-açúcar a ser transportado} = 1.154.400 \text{ TC}$$

Capacidade média de carga dos caminhões = 60 TC / Viagem

Distância do canal até a usina = 30 km (ida e volta) = 60 km

Cálculos

Combustível necessário para transportar 1.154.400 TC (óleo diesel)

$0,53 \text{ l} \times 1.154.400 = 611.832 \text{ l}$  de diesel

Número de viagens necessárias para o transporte de 1.154.400 TC

$1.154.400 / 60 \text{ TC} = 19.240$  viagens

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$19.240 \text{ viagens} \times 60 \text{ Km} = 1.154.400 \text{ km}$

Rendimento médio dos caminhões km / l

$1.154.400 \text{ TC} / 611.832 \text{ l de álcool} = 1,88 \text{ km / l diesel}$

Outros dados:

Produção de 1 litro de álcool é necessário 12,5 kg de cana-de-açúcar

Produção de 1 Kg de açúcar é necessário 6,50 kg de cana-de-açúcar

Cálculos:

$1000 \text{ kg} = 0,53 \text{ l diesel}$

$12,5 \text{ kg} = ? \text{ l diesel} \Rightarrow 6,625 / 1000 = \mathbf{0,0062 \text{ l diesel / l de álcool}}$

$1000 \text{ kg} = 0,53 \text{ l diesel}$

$6,47 \text{ kg} = ? \text{ l diesel} \Rightarrow 3,4185 / 1000 = \mathbf{0,00341 \text{ l diesel / kg de açúcar}}$

- **Consumo de combustível para transporte dos bens produzidos (álcool e açúcar) da usina até o CDs (l de diesel / l de álcool)**

Dados:

Rendimento médio veículos = 3,57 km / l diesel

Capacidade média de carga dos caminhões em litros = 35.000 litros / Viagem

Distância da usina ao CDs = 180 km (ida e volta) = 360 km

Produção foi 40,15% da TC para produção de álcool

Rendimento de 1 TC = 80 l de álcool

Cálculos:

Total de álcool produzido a ser transportado;

$$(1.154.400 \text{ TC} \times 0,4015) \times 80 \text{ litros} = 37.079.328 \text{ litros de álcool}$$

Número de viagens necessárias para o transporte do álcool produzido.

$$37.079.328 \text{ l} / 35.000 = 1060 \text{ viagens}$$

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$$1060 \text{ viagens} \times 360 \text{ Km} = 381.600 \text{ km}$$

Consumo de combustível (óleo diesel) para o transporte até os CDs.

$$381.600 \text{ km} / 3,57 \text{ l} = 106.890,75 \text{ litros de óleos diesel}$$

Consumo de óleo diesel por litro de álcool transportado

$$106.890,75 / 37.079.328 = 0,00288 \text{ l diesel} / \text{l álcool} \Rightarrow \mathbf{(0,0029 \text{ l diesel})}$$

Total de açúcar produzido a ser transportado;

$$(1.154.400 \text{ TC} \times 0,5985) \times 153,8 \text{ litros} = 106.192.621,10 \text{ kg de açúcar}$$

Número de viagens necessárias para o transporte do açúcar produzido.

$$106.192.621,10 \text{ kg} / 30 \text{ ton} = 3.539,75 \text{ viagens} \Rightarrow \text{viagens}$$

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$$3540 \text{ viagens} \times 360 \text{ Km} = 1.274.400 \text{ km}$$

Consumo de combustível (óleo diesel) para o transporte até os CDs.

$$1.274.400 \text{ km} / 3,57 \text{ l} = \text{litros de óleos diesel}$$

Consumo de óleo diesel por litro de álcool transportado

$$356.974,7 / 106.192.621,10 = 0,0034 \text{ l diesel} / \text{l álcool} \Rightarrow \mathbf{(0,0034 \text{ l diesel})}$$

- **Consumo total de combustível para transporte da UF (álcool e açúcar) do canavial até o CDs (l de diesel / l de álcool)**

Transporte da UF do álcool do canavial até o centro de distribuição, não considerando a colheita.

Dados:

Consumo de combustível para transporte UF do álcool canavial / usina = 0,0062 l diesel.

Consumo de combustível para transporte UF do álcool usina / CDs = 0,0029 l diesel.

Cálculo:

$$0,0062 + 0,0029 = \mathbf{0,0091 \text{ l diesel} / \text{UF}}$$



Transporte da UF do açúcar do canavial até o centro de distribuição, não considerando a colheita.

Dados:

Consumo de combustível para transporte UF do açúcar canavial / usina = 0,0034 l diesel.

Consumo de combustível para transporte UF do álcool usina / CDs = 0,0034 l diesel.

Cálculo:

$$0,0034 + 0,0034 = \mathbf{0,0068 \text{ l diesel / UF}}$$

- **Emissão de CO<sub>2</sub> Combustível fóssil.**

Considerando 3,22 kg CO<sub>2</sub> / kg de diesel, conforme Pereira, 2008, p. 264. e convertendo (l diesel) p/ (kg diesel) utilizando =>(consumo) \* (densidade).

$$= (\dots \text{ litros}) \times (8,4\text{E-}1)$$

**Etapa agrícola produção de álcool. Consumo de 1 diesel / 1 álcool = 0,0297**

$$0,0297 \times 8,4\text{E-}1 = 0,0249\text{Kg}$$

**0,0249 x 3,22 = 0,080 Kg CO<sub>2</sub> / 1 álcool**

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,4015)

$$80 \times 0,4015 = 32,12 \text{ l / TC}$$

$$32,12 \text{ l álcool / TC} \times 0,08\text{Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{2,57 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

**Etapa transporte cana produção de álcool até a usina**

consumo = 0,0062 l diesel / 1 álcool

$$0,0062 \times 8,4\text{E-}1 = 5,208\text{E-}3$$

**5,208E-3 x 3,22 = 0,017 Kg CO<sub>2</sub> / 1 álcool**

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,4015)

$$80 \times 0,4015 = 32,12 \text{ l / TC}$$

$$32,12 \text{ l álcool / TC} \times 0,017\text{Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{0,54 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

Transporte ao centro de distribuição foi consumido 0,0029 l diesel

$$0,0029 \times 8,4\text{E-}1 = 2,436\text{E-}3$$

**2,436E-3 x 3,22 = 0,008 Kg Kg CO<sub>2</sub> / 1 álcool**

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,4015)

$$80 \times 0,4015 = 32,12 \text{ l / TC}$$

$$32,12 \text{ l álcool} / \text{TC} \times 0,008 \text{ Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{0,25 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

#### **Etapa agrícola produção de açúcar.**

$$\mathbf{\text{Consumo de l diesel} / \text{kg de açúcar} = 0,0154 \text{ l de diesel} / \text{kg} / \text{açúcar}}$$

$$0,0154 \times 8,4\text{E-}1 = 0,0129$$

$$\mathbf{0,0129 \times 3,22 = 0,042 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

$$\text{Emissão de CO}_2 / \text{TC, para 1kg de açúcar (TC} \times 0,5985)$$

$$153,8 \times 0,5985 = 92,05 \text{ kg} / \text{TC}$$

$$92,05 \text{ kg açúcar} / \text{TC} \times 0,042 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{3,87 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

$$\mathbf{\text{Etapa transporte açúcar até a usina consume} = 0,0034 \text{ l diesel} / \text{kg açúcar}}$$

$$0,0034 \times 8,4\text{E-}1 = 2,856\text{E-}3$$

$$2,856\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,0092 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

$$\text{Emissão de CO}_2 / \text{TC, para 1kg de açúcar (TC} \times 0,5985)$$

$$153,8 \times 0,5985 = 92,05 \text{ kg} / \text{TC}$$

$$92,05 \text{ kg açúcar} / \text{TC} \times 0,0092 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{0,84 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

Transporte ao centro de distribuição foi consumido 0,0034 l diesel

$$0,0034 \times 8,4\text{E-}1 = 2,856\text{E-}3$$

$$2,856\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,0092 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

$$\text{Emissão de CO}_2 / \text{TC, para 1kg de açúcar (TC} \times 0,5985)$$

$$153,8 \times 0,5985 = 92,05 \text{ kg} / \text{TC}$$

$$92,05 \text{ kg açúcar} / \text{TC} \times 0,0092 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{0,84 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

#### **Cálculo do consumo d'água na etapa agrícola**

- Chuva

Dados: Precipitação anual = 1830 mm

INMET, 2007

Evapotranspiração = 82%

EMBRAPA, 2007

$$\begin{aligned}
&= 1830\text{mm} \times .82 \times 1\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{mm} \times 1\text{E}04 \text{ m}^2/\text{ha} \\
&= 15.006 \text{ m}^3/\text{ha} \\
&= 15.006 \text{ m}^3 / (80 \text{ TC}) \\
&= \mathbf{187,575 \text{ m}^3 / \text{TC}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 15.000 \text{ m}^3 / \text{ha} \times \text{ano} \\
&= 15.000 \text{ m}^3 / (80 \text{ TC}) \times \text{ano} \\
&= 187,50 \text{ m}^3 / \text{TC} \times \text{ano}
\end{aligned}$$

Cálculo do consumo d'água na etapa agrícola - água usada para irrigação.

$$\begin{aligned}
&= \text{Consumo de } 6000 \text{ l} / \text{ha} \times \text{ano} \\
&= 6 \text{ m}^3 / \text{ha} \times \text{ano} \\
&= 6 \text{ m}^3 / (80 \text{ TC}) \times \text{ano} \\
&= 0,075 \text{ m}^3 / \text{TC} \times \text{ano}
\end{aligned}$$

Cálculo sobre Perda de Solo para produção de álcool

Dados:

Cana processada para produção de álcool = 463.491,6 TC

Rendimento médio da produção de cana = 80TC / ha

Perda de solo = 11,9 T / ha / ano

Cálculo:

$$463.491,6 / 80 = 5.793,6 \text{ ha}$$

$$5.793,6\text{ha} \times 11,9 \text{ T por hectare ano} = 68.944,37 \text{ toneladas} / \text{ano ou}$$

$$68.944,37 / 37.079.328 \text{ litros álcool} = \mathbf{1,86 \text{ kg de solo} / \text{l álcool}}$$

Cálculo sobre Perda de Solo para produção de açúcar

Dados:

Cana processada para produção de açúcar = 690.908,4 TC

Rendimento médio da produção de cana = 80TC / ha

Perda de solo = 11,9 T / ano

Cálculo:

$$690.908,4 / 80 = 8636,35 \text{ ha}$$

$$8636,35 \times 11,9 \text{ T por hectare ano} = 102.772,62 \text{ toneladas} / \text{ano ou}$$

102.277,62 / 106192621,10 litros álcool = **0,97 kg de solo / kg açúcar**

- **Emissões por oxidação do solo erodido**

Assumindo que:

Perda do solo = 11,9 Ton. solo / ha. a → 11.900 kg solo / ha. a, conforme ECOAGRI, 2007, apud Pereira 2008.

Quantidade de matéria orgânica solo = 0,04 kg m.o. l / solo

Umidade da matéria orgânica = 70 %

Oxidação de matéria orgânica, produz = 3 g CO<sub>2</sub> / g de material orgânico (MO), conforme (Ulgiati, 2001 apud Pereira 2008).

Equação:

Emissão de Co<sub>2</sub> (perda de solo) x (MO) X (1 – umidade) x (emissão MO)

11.900 KG solo /ha. a x 0,04 kg MO / kg solo x (1- 0,7) x 3 g CO<sub>2</sub> / g MO

= **428,4 kg CO<sub>2</sub> / ha . a**

Outros cálculos efetuados:

- Mudas

= 12 t / ha x ano

= 12.000 kg / (80 TC) x ano

= 150 kg / TC x ano

- Corretivos

= 200 kg / ha x ano

= 200 kg / (80 TC) x ano

= 25 kg / TC x ano

- Herbicidas

= 4,3 kg / ha x ano

= 4,3 kg / (80 TC) x ano

= 0,054 kg / TC x ano

- Fertilizantes

$$\begin{aligned} &= 421 \text{ kg / ha x ano} \\ &= 421 \text{ kg / (80 TC) x ano} \\ &= 5,262 \text{ kg / TC x ano} \end{aligned}$$

## APÊNDICE 2 – DADOS DA USINA II

Foram levantados os seguintes dados em bibliografias e coletados a usina II anônima no estado do Mato Grosso do Sul:

1. Dados da propriedade agrícola:
  - Região: Mato Grosso do Sul
  - Produção: 80 TC / ha.a.
  - Área total do canavial: 45.000 hectares; Total de Cana moída: 3.600.000 TC / ano
  - Produção TC moída: 33,95% álcool e 66,05% açúcar
  - Safra: 210 dias de colheita
  - Fertirrigação: Sim (vinhaça, cinzas, etc.)
  - Álcool: 80 l / t cana
  - Açúcar: 86,470 kg / TC x ano
  - Bagaço: 270 kg / TC esmagada
  - Torta de filtro: 35 kg / TC

- Vinhaça: 10 l / l de álcool = 820 l / TC
  - Lodo, cinzas, palha, etc.: 190 kg/ TC
  - Águas residuárias: 1,5 m<sup>3</sup>/TC
  - Vapor: não informado
2. Dados do transporte da cana-de-açúcar:
- Cana transportada a granel (3.600.000TC)
  - Caminhão: com capacidade para transportar carga 45 toneladas.
  - Distância do canavial até a usina de 38 km (ida e volta) = 76 km
3. Transporte do Álcool à Distribuidora
- Total de álcool a serem transportados 97.776.000 litros.
  - Caminhão: com capacidade de transportar 32.000 litros.
  - Rendimento médio de 3,8 km/l
  - Distância da Usina até a distribuidora de álcool: 180 km. (Ida e volta) = 360 km
4. Transporte do Açúcar à Distribuidora
- Total de açúcar a serem transportados 324.378.316,8 quilogramas.
  - Caminhão: com capacidade de transportar 30 toneladas
  - Rendimento médio de 3,8 km/l
  - Distância da Usina até a distribuidora de álcool: 180 km. (Ida e volta) = 360 km

##### 5. Memorial de cálculo da Usina I

Cana-de-açúcar – produção de 1 litro de álcool

$$1000\text{kgC} / 80\text{l} = 12,5 \text{ kgC}$$

Cana-de-açúcar – produção de 1kg de açúcar

$$1000\text{kgC} / 135,68 = 7,37 \text{ kgC}$$

- **Combustível etapa Agrícola**

Dados:

$$3,25 \text{ l} / \text{TC}$$

$$1 \text{ ha} = 80 \text{ TC}$$

$$1 \text{ TC} = 80 \text{ l de álcool}$$

1 TC = 135,68 kg de açúcar

Cálculos

$3,25 / 80 = 0,0406$  l diesel / l álcool

$3,25 / 135,68 = 0,0239$  l diesel / l açúcar

1 ha = 80 TC  $\Rightarrow 80 \times 3,25 = 260$  l / há

- **Consumo de combustível para transporte canavial / usina (l de diesel / l de álcool)**

Dados:

Rendimento médio veículos = 0,42 l / TC

Quantidade de cana-de-açúcar a ser transportado = 3.600.000 TC

Capacidade média de carga dos caminhões = 45 TC / Viagem

Distância do canavial até a usina = 38 km (ida e volta) = 76 km

Cálculos

Combustível necessário para transportar 3.600.000 TC (óleo diesel)

$0,42 \text{ l} \times 3.600.000 = 1.512.000$  l de diesel

Número de viagens necessárias para o transporte de 3.600.000 TC

$3.600.000 / 45 \text{ TC} = 80.000$  viagens

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$80.000 \text{ viagens} \times 76 \text{ Km} = 6.080.000$  km

Rendimento médio dos caminhões km / l

$3.600.000 \text{ TC} / 1.512.000 \text{ l de álcool} = 4,02$  km / l diesel

Outros dados:

Produção de 1 litro de álcool é necessário 12,5 kg de cana-de-açúcar

Produção de 1 Kg de açúcar é necessário 7,37 kg de cana-de-açúcar

Cálculos:

1000 kg = 0,42 l diesel

$12,5 \text{ kg} = ? \text{ l diesel} \Rightarrow 5,25 / 1000 = \mathbf{0,0052}$  l diesel / l de álcool

1000 kg = 0,42 l diesel

$7,37 \text{ kg} = ? \text{ l diesel} \Rightarrow 3,09 / 1000 = \mathbf{0,0031}$  l diesel / kg de açúcar

- **Consumo de combustível para transporte dos bens produzidos (álcool e açúcar) da usina até o CDs (l de diesel / l de álcool)**

Dados:

Rendimento médio veículos = 3,8 km / l diesel

Capacidade média de carga dos caminhões em litros = 32.000 litros / Viagem

Distância da usina ao CDs = 180 km (ida e volta) = 360 km

Produção foi 33,95% da TC para produção de álcool

Rendimento de 1 TC = 80 l de álcool

Cálculos:

Total de álcool produzido a ser transportado;

$(3.600.000 \text{ TC} \times 0,3395) \times 80 \text{ litros} = 97.776.000 \text{ litros de álcool}$

Número de viagens necessárias para o transporte do álcool produzido.

$97.776.000 \text{ l} / 32.000 = 3.055,5 \text{ viagens} \Rightarrow 3.056 \text{ viagens}$

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$3.056 \text{ viagens} \times 360 \text{ Km} = 1.100.160 \text{ km}$

Consumo de combustível (óleo diesel) para o transporte até os CDs.

$1.100.160 \text{ km} / 3,8 \text{ l} = 289.515,79 \text{ litros de óleos diesel}$

Consumo de óleo diesel por litro de álcool transportado

$289.515,79 / 97.776.000 = 0,0029 \text{ l diesel} / \text{l álcool} \Rightarrow \textbf{(0,0029 l diesel)}$

Total de açúcar produzido a ser transportado;

$(3.600.000 \text{ TC} \times 0,6605) \times 135,68 \text{ kg} = 322.619.904 \text{ de açúcar}$

Número de viagens necessárias para o transporte do açúcar produzido.

$322.619.904 \text{ kg} / 30 \text{ ton} = 10.753,99 \text{ viagens} \Rightarrow 10.754 \text{ viagens}$

Total da distância a ser percorrida para o transporte em Km.

$10.754 \text{ viagens} \times 360 \text{ Km} = 3.871.440 \text{ km}$

Consumo de combustível (óleo diesel) para o transporte até os CDs.

$3.871.440 \text{ km} / 3,8 \text{ l} = 1.018.800 \text{ litros de óleos diesel}$

Consumo de óleo diesel por litro de álcool transportado

$1.018.800 / 322.619.904 = 0,00315 \text{ l diesel} / \text{l álcool} \Rightarrow \textbf{(0,0031 l diesel)}$



- **Consumo total de combustível para transporte da UF (álcool e açúcar) do canavial até o CDs (l de diesel / l de álcool)**

Transporte da UF do álcool do canavial até o centro de distribuição, não considerando a colheita.

Dados:

Consumo de combustível para transporte UF do álcool canavial / usina = 0,0052 l diesel.

Consumo de combustível para transporte UF do álcool usina / CDs = 0,0029 l diesel.

Cálculo:

$$0,0052 + 0,0029 = \mathbf{0,0081 \text{ l diesel / UF}}$$

Transporte da UF do açúcar do canavial até o centro de distribuição, não considerando a colheita.

Dados:

Consumo de combustível para transporte UF do açúcar canavial / usina = 0,0031 l diesel.

Consumo de combustível para transporte UF do açúcar usina / CDs = 0,0031 l diesel.

Cálculo:

$$0,0031 + 0,0031 = \mathbf{0,0062 \text{ l diesel / UF}}$$

- **Emissão de CO<sub>2</sub> Combustível fóssil.**

Considerando 3,22 kg CO<sub>2</sub> / litro de diesel, conforme Pereira, 2008, p. 264. e convertendo (l diesel) / (kg diesel) utilizando =>(consumo) \* (densidade).

$$= (\dots \text{ l TC}) \times (8,4\text{E-}1)$$

**Etapla agrícola produção de álcool. Consumo de l diesel / l álcool = 0,0406**

$$0,0406 \times 8,4\text{E-}1 = 0,0341$$

**0,0341 x 3,22 = 0,11 Kg CO<sub>2</sub> / l álcool**

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,3395)

$$80 \times 0,3395 = 27,16 \text{ l / TC}$$

$$27,16 \text{ l álcool / TC} \times 0,11 \text{ Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{2,987 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

**Etapla transporte cana produção de álcool até a usina**

consumo = 0,0052 l diesel / l álcool

$$0,0052 \times 8,4\text{E-}1 = 4,368\text{E-}3$$

$$4,368\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,014 \text{ Kg CO}_2 / \text{l álcool}}$$

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,3395)

$$80 \times 0,3395 = 27,161 / \text{TC}$$

$$27,161 \text{ l álcool} / \text{TC} \times 0,014 \text{ Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{0,38 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

Transporte ao centro de distribuição foi consumido 0,0029 l diesel

$$0,0029 \times 8,4\text{E-}1 = 2,436\text{E-}3$$

$$2,436\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,008 \text{ Kg Kg CO}_2 / \text{l álcool}}$$

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1 litro de álcool (TC x 0,3395)

$$80 \times 0,3395 = 27,161 / \text{TC}$$

$$27,161 \text{ l álcool} / \text{TC} \times 0,008 \text{ Kg CO}_2 / \text{l álcool} = \mathbf{0,217 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

#### **Etapa agrícola produção de açúcar.**

**Consumo de l diesel / kg de açúcar = 0,0239 l**

$$0,0239 \times 8,4\text{E-}1 = 0,02$$

$$\mathbf{0,02 \times 3,22 = 0,064 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1kg de açúcar (TC x 0,6605)

$$135,68 \times 0,6605 = 89,61 \text{ kg} / \text{TC}$$

$$89,61 \text{ kg açúcar} / \text{TC} \times 0,064 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{5,73 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

**Etapa transporte açúcar até a usina consome = 0,0031 l diesel / kg açúcar**

$$0,0031 \times 8,4\text{E-}1 = 2,604\text{E-}3$$

$$2,604\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,0083 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1kg de açúcar (TC x 0,6605)

$$135,68 \times 0,6605 = 89,61\text{kg} / \text{TC}$$

$$89,61 \text{ kg açúcar} / \text{TC} \times 0,0083 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{0,75 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

**Transporte ao centro de distribuição foi consumido 0,0031 l diesel**

$$0,0031 \times 8,4\text{E-}1 = 2,204\text{E-}3$$

$$2,204\text{E-}3 \times 3,22 = \mathbf{0,0083 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar}}$$

Emissão de CO<sub>2</sub> / TC, para 1kg de açúcar (TC x 0,5985)

$$135,68 \times 0,6605 = 89,61 \text{ kg / TC}$$

$$89,61 \text{ kg açúcar / TC} \times 0,0083 \text{ Kg CO}_2 / \text{kg açúcar} = \mathbf{0,75 \text{ Kg CO}_2 / \text{TC}}$$

Cálculo do consumo d'água na etapa agrícola

- Chuva

$$\text{Dados: Precipitação anual} = 1660 \text{ mm} \quad \text{INMET, 2007}$$

$$\text{Evapotranspiração} = 82\% \quad \text{EMBRAPA, 2007}$$

$$= 1660\text{mm} \times .82 \times 1\text{E-}3 \text{ m}^3/\text{mm} \times 1\text{E}04 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$= 13.612 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$= 13.612 \text{ m}^3 / (80 \text{ TC})$$

$$= \mathbf{170,15 \text{ m}^3 / \text{TC}}$$

$$= 13.612 \text{ m}^3 / \text{ha} \times \text{ano}$$

$$= 15.612 \text{ m}^3 / (80 \text{ TC}) \times \text{ano}$$

$$= 170,15 \text{ m}^3 / \text{TC} \times \text{ano}$$

Cálculo do consumo d'água na etapa agrícola – água para irrigação.

Não há informações sobre o uso

Cálculo sobre Perda de Solo para produção de álcool

Dados:

$$\text{Cana processada para produção de álcool} = 1.222.200 \text{ TC}$$

$$\text{Rendimento médio da produção de cana} = 80\text{TC} / \text{ha}$$

$$\text{Perda de solo} = 11,9 \text{ T} / \text{ha} / \text{ano}$$

Cálculo:

$$1.222.200 / 80 = 15.277,5 \text{ ha}$$

$$15.277,5 \text{ ha} \times 11,9 \text{ T por hectare ano} = 181.802,25 \text{ toneladas} / \text{ano ou}$$

$$181.802,25 / 97.776.000 \text{ litros álcool} = \mathbf{1,86 \text{ kg de solo} / \text{l álcool}}$$

Cálculo sobre Perda de Solo para produção de açúcar

Dados:

$$\text{Cana processada para produção de açúcar} = 2.377.800 \text{ TC}$$

Rendimento médio da produção de cana = 80TC / ha

Perda de solo = 11,9 T / ano

Cálculo:

$$2.377.800 / 135,68 = 17.525,05 \text{ ha}$$

$$17.525,05 \times 11,9 \text{ T por hectare ano} = 208.548,09 \text{ toneladas / ano ou}$$

$$208.548,09 / 106192621,10 \text{ kg açúcar} = \mathbf{0,64 \text{ kg de solo / kg açúcar}}$$

- **Emissões por oxidação do solo erodido**

Assumindo que:

Perda do solo = 11,9 Ton. solo / ha. a  $\rightarrow$  11.900 kg solo / ha. a, conforme ECOAGRI, 2007, apud Pereira 2008.

Quantidade de matéria orgânica solo = 0,04 kg m.o. l / solo

Umidade da matéria orgânica = 70 %

Oxidação de matéria orgânica, produz = 3 g CO<sub>2</sub> / g de material orgânico (MO), conforme Ulgiati, 2001 apud Pereira 2008.

Equação:

Emissão de Co<sub>2</sub> (perda de solo) x (MO) X (1 – umidade) x (emissão MO)

$$11.900 \text{ KG solo /ha. a} \times 0,04 \text{ kg MO / kg solo} \times (1 - 0,7) \times 3 \text{ g CO}_2 / \text{g MO}$$

$$= \mathbf{428,4 \text{ kg CO}_2 / \text{ha} . \text{ a}}$$

Outros cálculos efetuados:

- Mudas

$$= 14 \text{ t / ha} \times \text{ano}$$

$$= 14.000 \text{ kg} / (80 \text{ TC}) \times \text{ano}$$

$$= 175 \text{ kg} / \text{TC} \times \text{ano}$$

- Corretivos e Herbicidas

$$= 19,06\text{E}+6 \text{ J} / \text{TC} \times 1,97\text{E}+6 \text{ sej} / \text{J} \text{ (conversão J p/ sej. UNICAMP, 2001)}$$

$$= 3,75482\text{E}+13 \text{ sej} / \text{TC} / 1,48\text{E}+13 \text{ sej} / \text{Kg} \text{ (conversão sej p/ Kg. UNICAMP,2001)}$$

$$= 2,537 \text{ kg} / \text{TC}$$

•Fertilizantes

$$= 66,96E+6 \text{ J / TC} \times 1,86E+6 \text{ sej / J (conversão J p/ sej. UNICAMP, 2001)}$$

$$= 1,245456E+14 \text{ sej / TC} / 3,8E+12 \text{ sej / Kg (conversão sej p/ Kg. UNICAMP,2001)}$$

$$= 32,775 \text{ kg / TC}$$

### **APÊNDICE 3 – CARTA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA**

Campo Grande , 12 março de 2008.

Prezado Senhor (a):

Vimos por meio desta apresentar a pesquisa sobre **“Avaliação sob a ótica ambiental do processo produtivo das indústrias sucroalcooleiras, (produção de álcool e açúcar) a partir do inventário das etapas da produção, por meio da metodologia de Análise do Ciclo de Vida de Produtos”**, que está sendo realizada como base para a dissertação de Mestrado - Strito Senso em Tecnologias ambientais do Mestrando Denivaldo Teixeira Santos, sob a orientação do Prof. Dr. Júlio César Gonçalves, professor de pós-graduação e coordenador do BEP- Base de Estudo do Pantanal – UFMS – Universidade Federal de Mato-Grosso do Sul.

Trata-se de um estudo de caso, portanto será uma pesquisa em empresa do setor sucroalcooleiro localizadas em Mato Grosso do Sul, tendo como objetivo o estudo a avaliação sob o a ótica ambiental do processo produtivo da indústria sucroalcooleira mais especificamente na produção de álcool e açúcar utilizando-se da metodologia de Análise do Ciclo de Vida dos Produtos – ACV, a partir do inventário das etapas da produção. Com o uso do Software UMBERTO DEMO 5.

Essa pesquisa consta de um questionário semi-estruturado que deverá ser respondido por um representante da empresa na presença do mestrando. O tempo estimado para a entrevista e a resposta do questionário é de 30 minutos. As informações e dados fornecidos serão tratados como confidenciais, sendo que a apresentação dos mesmos no trabalho final será feita de maneira agregada, sem a identificação da empresa participante. Estamos prontos a esclarecer quaisquer dúvidas quanto aos objetivos e procedimentos da pesquisa e da entrevista.

Desde já agradecemos vossa colaboração e disponibilidade, as quais são de fundamental importância para a boa consecução do trabalho.

Atenciosamente,

Denivaldo Teixeira Santos

Prof. Dr. Júlio César Gonçalves