

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO ÁLCOOL HIDRATADO
PRODUZIDO NA USINA SÃO LUIZ LOCALIZADA NO
MUNICÍPIO DE OURINHOS – SP**

Ulisses Laureano Bianchini

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares**

**Florianópolis (SC)
Novembro de 2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

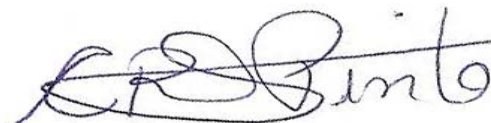
**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO ÁLCOOL HIDRATADO PRODUZIDO NA
USINA SÃO LUIZ LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS - SP**

ULISSES LAUREANO BIANCHINI

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II**

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares
(Orientador)



Prof. Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto
(membro da banca)



MSc. Vamilson Prudêncio da Silva Jr.
(membro da banca)

**Florianópolis (SC)
Novembro de 2007**

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Maurílio e Iyone a minha querida esposa Érika e a minha linda filha Nicole.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a meus pais por sempre acreditarem em mim.

A minha esposa Érika e a minha filha Nicole que sempre estiveram ao meu lado.

A família Hmeljevski por me acolher como agregado.

Ao professor Sebastião Roberto Soares pela orientação.

A todos os professores que contribuíram para minha formação.

A Usina São Luiz pelas informações cedidas para a elaboração do trabalho.

Aos meus amigos pela força.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta a Análise do Ciclo de Vida do álcool hidratado (Etanol) produzido na Usina São Luiz, com base na ferramenta descrita na norma ISO 14.040, Análise do Ciclo de Vida de Produtos. No presente estudo foi definido como escopo três fases, que vão desde a preparação das mudas de cana-de-açúcar, passando pela fase agrícola e finalmente chegando a fase industrial. Para estas três fases foram quantificadas todas as entradas e saídas de cada subsistema, sendo considerada como unidade funcional a produção de 1.000 litros de etanol. Para o levantamento dos dados foram realizadas visitas a usina, sendo feito levantamento tanto dos dados agrícolas quanto dos industriais. Observou-se que as entradas do processo se caracterizam pelo consumo de óleo diesel, fertilizantes, herbicidas e água, gerando como saídas resíduos sólidos, sobras de água e emissões atmosféricas. Com este estudo foi possível constatar que os principais impactos ambientais estão relacionados com as emissões atmosféricas e com o grande consumo de água.

Palavras-chave: Análise do Ciclo de Vida, etanol, entradas e saídas.

ABSTRACT

This work presents a lifecycle analysis of hydrated alcohol (ethanol) produced in the Factory São Luiz, based on a tool called Product Lifecycle Analysis which is described in ISO 14040. The scope chosen for this research is divided in 3 phases that starts with the preparation of sugar cane sapling, going through the rural phase and finally to the industrial phase. For these three phases, all subsystems' inputs and outputs were quantified considering the production of 1.000 liters of ethanol as functional unit. To raise all the rural and industrial data, it was required to visit the factory several times. The process inputs are characterized as diesel, fertilizers, herbicides and water consumption which generated solid residues, water and atmospheric emission as outputs. As a result, it was possible to note that main environmental impacts are related to atmospheric emission and with the consumption of a big amount of water.

Keywords: Lifecycle Analysis, ethanol, inputs and outputs.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo Geral.....	8
2.2. Objetivos Específicos	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1. Análise do Ciclo de Vida de Produtos (ACV).....	8
3.1.1. Histórico	8
3.1.2. Definições	9
3.1.3. Definição do objetivo e escopo	10
3.1.4. Análise do Inventário	10
3.1.5. Avaliação de impacto	11
3.1.6. Interpretação dos resultados	11
3.2. A Produção do Etanol no Brasil	11
3.2.1. Caracterização da Empresa em Estudo.....	13
4. METODOLOGIA	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
5.1 Análise do Inventário	16
5.1.1. Fase de preparação das mudas.....	17
5.1.2. Fase Agrícola.....	23
5.1.3. Fase Industrial	26
5.1.4. Inventário para a Unidade Funcional.....	43
5.2. Análise de Impactos	47
5.2.1. Esgotamento dos Recursos Naturais	47
5.2.2. Produtos Químicos	47
5.2.3. Efluentes Líquidos.....	48
5.2.4. Resíduos Sólidos	48
5.2.5. Emissões Atmosféricas.....	48
5.2.6. Matriz de Impactos	49
6. CONCLUSÕES	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8. ANEXOS.....	54
8.1 Anexo 01 – Relatório das emissões atmosféricas das chaminés	54

1. INTRODUÇÃO

O grande enfoque dado às questões ambientais nos últimos tempos devido às crescentes catástrofes naturais ocorridas em todo mundo, levaram especialistas a apontar como causa destes fenômenos o elevado consumo de combustíveis derivados de petróleo, principais responsáveis pela emissão de gases causadores do efeito estufa que provocam o aquecimento global e conseqüentemente afetam o meio ambiente.

Visando diminuir o consumo destes combustíveis derivados de petróleo e desenvolver uma tecnologia nova capaz de produzir combustíveis menos poluentes a partir de biomassa, na década de 70 foi criado no Brasil o Programa Nacional do Álcool, PROÁLCOOL, que substituiu 10 milhões de carros movidos à gasolina por carros com motores movidos a etanol (álcool hidratado).

Apesar de o PROÁLCOOL ter sido criado no ano de 1975, ele nunca se firmou como alternativa concorrente frente aos combustíveis derivados de petróleo, visto que, com a queda do preço do petróleo a partir da década de 80, o preço do etanol passou a ser inviável para os consumidores.

Porém a partir do ano 2000, com as emissões excessivas de gases causadores do efeito estufa devido à queima dos combustíveis fósseis, novamente surgiu à necessidade de utilização de fontes alternativas de energia que poluam menos, fortalecendo assim o processo de produção do etanol.

No entanto, apesar de ser apontado como um combustível mais limpo, durante o processo de produção do etanol, inúmeras etapas são realizadas desde o plantio da cana-de-açúcar até a produção do álcool, sendo observadas gerações de diferentes aspectos ambientais. Portanto, para a quantificação destes aspectos ambientais gerados durante o processo de produção do álcool combustível, utilizou-se neste trabalho a ferramenta de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV pode fornecer boas contribuições a empresas que se preocupam com questões ambientais, permitindo a otimização de processos produtivos, a identificação de pontos fortes e fracos do sistema, a comparação de produtos com funções similares entre outras. É uma das ferramentas gerenciais mais completas para-se avaliar os principais aspectos de produção de um produto e seus respectivos impactos no meio ambiente, visto que estende-se desde a extração de matérias-primas, passando pelas fases de processamento, consumo e destinação final.

O intuito deste trabalho foi conhecer as etapas que envolvem o ciclo de vida do etanol, como produto, desde o plantio da cana-de-açúcar até o processo de produção industrial, quantificando assim todas as entradas e saídas de cada etapa existente neste sistema.

O trabalho se desenvolveu na Usina São Luiz S/A, localizada no município de Ourinhos, estado de São Paulo e todos os dados levantados na etapa de construção do inventário foram obtidos com base na safra 2006/07.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Levantar e qualificar os impactos ambientais do processo de produção do Alcool Hidratado durante todo o seu ciclo de vida de produção (plantio da cana-de-açúcar, tratos culturais, colheita, transporte, processo industrial).

2.2. Objetivos Específicos

- Quantificar as entradas e saídas das etapas:
 - Preparação do Solo;
 - Plantio da cana-de-açúcar;
 - Tratos culturais (uso de herbicidas);
 - Colheita da cana-de-açúcar;
 - Transporte da cana-de-açúcar até a unidade de produção;
 - Processo de produção industrial;
- Identificar as formas de descarte dos resíduos gerados;
- Qualificar os impactos oriundos de cada subsistema.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Análise do Ciclo de Vida de Produtos (ACV)

3.1.1. Histórico

No ano de 1969, a Coca-Cola através do instituto de pesquisa Midwest Research Institute – MRI desenvolveu um estudo que buscou comparar diferentes tipos de embalagens, com o intuito de determinar qual embalagem provocaria menor impacto negativo ao meio ambiente, ficando o modelo conhecido como REPA.

No entanto, o primeiro estudo que se aproxima dos modelos de avaliação do ciclo de vida (ACV) hoje conhecidos, ocorreu no ano de 1974 e era conhecido como EPA (Environmental Protection Agency).

Ainda na década de 70 com a crise mundial do petróleo, as análises energéticas passam a ser prioridade, levando inúmeras instituições em busca do aperfeiçoamento de uma ferramenta capaz de avaliar os impactos causados por um produto. Com isso surgem institutos como o Oko Institut, IOW e a SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), sendo esta ultima a líder desde o início dos estudos de ACV.

Posteriormente, no ano de 1985 foi desenvolvido na Europa um modelo similar definido como Ecobalance, sendo diretamente voltado para as indústrias alimentícias e visando o monitoramento do consumo de matérias primas e energia do processo, assim como a geração de resíduos.

Com o passar dos anos a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), através da realização de vários encontros visando à busca de um modelo integrado, cria em 1993 o Comitê Técnico 207 (ISO/TC207) que através do Subcomitê SC5 elabora a norma da Análise do Ciclo de Vida. Com isso, entre os anos de 1997 e 2000 ocorre a elaboração de um conjunto de normas que dão base a todo o processo de implantação de uma ACV, sendo elas a: ISO 14 040, ISO 14 041, ISO 14 042 e ISO 14 043.

3.1.2. Definições

A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta empregada para auxiliar na avaliação dos impactos potenciais associados a um produto, serviço ou processo, permitindo quantificar todas as entradas e saídas de um sistema.

Segundo CHEHEBE (1998), a análise do ciclo de vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição do produto final (túmulo).

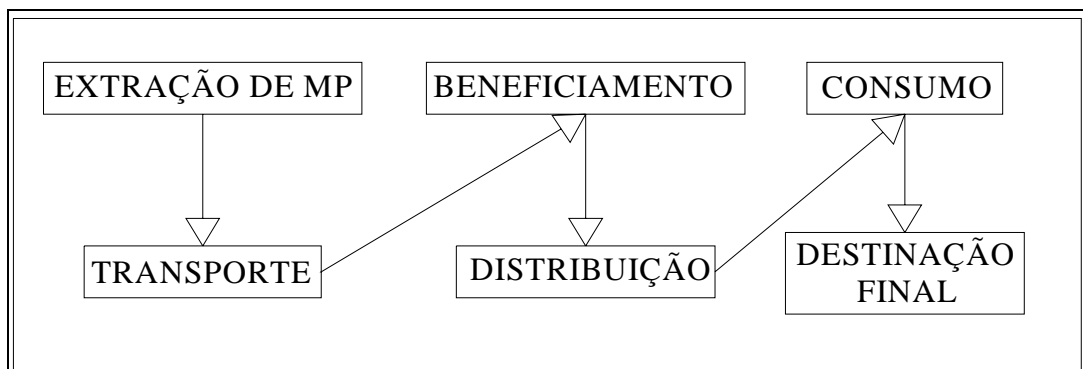


Figura 01 - Etapas do ciclo de vida de um produto.

A ACV é uma das técnicas com o propósito de desenvolver o levantamento de informações que permitam compreender e conseqüentemente diminuir os impactos potenciais causados por um produto. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as conseqüências ecológicas, (NBR ISO 14040, 2001).

Dentre as contribuições oriundas da implantação de uma ACV podemos citar a diminuição dos resíduos devido à redução do uso de energia e de materiais e o uso como ferramenta de marketing para a obtenção de declarações e rótulos ambientais de produtos amigos do ambiente. No entanto, SOARES (2007) ressalta que ao se empregar um estudo de análise do ciclo de vida para obtenção de rótulos ambientais deve-se tomar cuidado, pois este tipo de estudo depende muito da qualidade dos dados obtidos em relação às entradas e saídas do sistema.

A norma ISO 14 040 (2001), ainda define que a ACV pode ajudar:

- Na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- Na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeto de produtos ou processos);
- Na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição;

A Análise do ciclo de vida segundo a norma ISO 14 040 é aplicada em 4 fases, sendo elas: definição do objetivo e escopo; análise do inventário; avaliação de impacto e interpretação dos resultados (Figura 02).

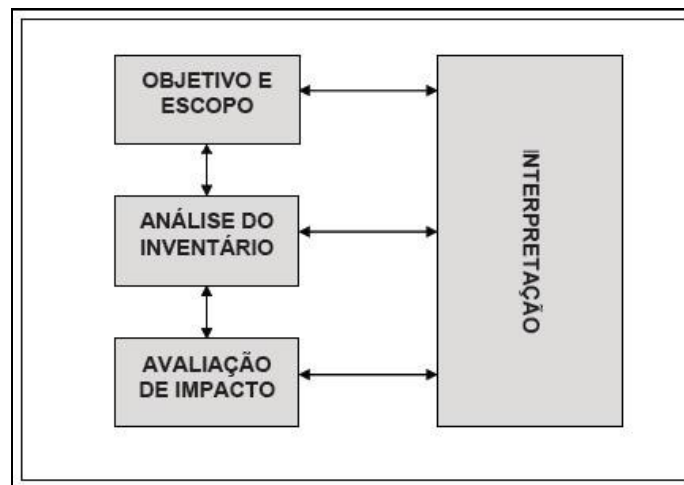


Figura 02 – Etapas de uma avaliação do ciclo de vida.

3.1.3. Definição do objetivo e escopo

É a fase onde se deve definir com clareza os objetivos pretendidos pelo estudo, estabelecendo sem ambigüidade, a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, ou seja, para quem se espera comunicar os resultados, (NBR ISO 14040, 2001).

Segundo a SETAC (1993), esta é a etapa na qual se dá as principais razões da realização do estudo, enfocando a sua abrangência e limites, a unidade funcional, a metodologia, os procedimentos considerados necessários para a garantia da qualidade do estudo, a escolha dos parâmetros ambientais e a estratégia para coleta de dados.

3.1.4. Análise do Inventário

É a etapa na qual se deve quantificar as energias e fluxos das entradas e saídas de cada subsistema existente dentro do escopo, incluindo: massa, energia, efluentes sólidos, líquidos e gasosos e outros aspectos ambientais.

Para CHEHEBE (1998), o inventário refere-se à fase de coleta de dados e procedimentos de cálculos, sendo que tudo o que entra no sistema é igual ao que sai, podendo ser comparado com um balanço contábil-financeiro, só que medido em termos energéticos ou de massa.

3.1.5. Avaliação de impacto

Esta é a etapa na qual, a partir da análise do inventário, busca-se classificar, caracterizar e analisar quantitativamente e qualitativamente os verdadeiros efeitos dos impactos ambientais observados, através de categorias pré-selecionados.

O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo, (NBR ISO 14040, 2001).

3.1.6. Interpretação dos resultados

Na fase de interpretação, as constatações obtidas nas etapas de análise do inventário e avaliação dos impactos, são correlacionadas com o intuito de obter conclusões, explicar limitações e oferecer recomendações para os tomadores de decisões, visando sempre uma apresentação compreensível, completa e consistente dos resultados, (NBR ISO 14040, 2001).

3.2. A Produção do Etanol no Brasil

A possibilidade de utilizar o álcool oriundo da cana-de-açúcar como combustível automotivo é conhecida há mais de um século, mas até os anos 70 a disponibilidade de derivados de petróleo e o preço baixo destes desincentivavam seu emprego.

Em outubro de 1973, com a crise do petróleo o cenário mudou e o mundo se viu ante o risco de desabastecimento energético. Buscando novas alternativas energéticas, em 14 de novembro de 1975 através do decreto nº 76.593 o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. De acordo com o decreto, a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras.

No entanto, a partir de 1986 no período determinado de “contra-choque do petróleo” , na qual os preços do barril de petróleo voltaram a cair, a utilização do álcool se tornou inviável, levando o projeto PROÁLCOOL a fase de estagnação.

Apenas a partir do ano 2000, a produção do álcool para fins automotivos em larga escala ganhou força novamente, graças à busca de novas alternativas energéticas menos poluentes, visto que a elevada queima dos combustíveis derivados de petróleo vem sendo apontado como um dos principais causadores do aquecimento global, devido principalmente a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

No Brasil a utilização do etanol se deu de duas formas: inicialmente como aditivo a gasolina (álcool anidro), empregado desde a década de 30; e a partir da criação do PROALCOOL, empregado como combustível puro (álcool hidratado) utilizado para mover veículos com este tipo de motor. A diferença entre o álcool anidro e o hidratado é o teor alcoólico de cada um, sendo que o anidro é obtido da desidratação do hidratado, com praticamente ausência de água, apresentando um teor alcoólico de aproximadamente 99,5° GL, enquanto que o hidratado apresenta um teor de 95,5° GL. A representação na escala GL ou Gay Lussac, representa a % do volume de álcool existente na amostra, ou seja, uma amostra com 99,5° GL possui 99,5 % de seu volume líquido de álcool.

Em relação à produção nacional, a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) divulgou que o Brasil na safra 2005/06 colheu 431 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, totalizando uma área plantada de 6,2 milhões de hectares. Com essa colheita as usinas brasileiras produziram ao todo aproximadamente 26 milhões de toneladas de açúcar e 16 bilhões de litros de álcool, dos quais grande parte foi destinada ao mercado interno (85%).

A Conab ainda estima que para a safra 2007/08 o crescimento do setor sucroalcooleiro deve atingir os 10 %, totalizando uma produção de 475,0 milhões de toneladas de cana.

As regiões que mais concentram as usinas produtoras de açúcar e álcool no Brasil são as regiões Centro-Sul e Nordeste, com grande destaque para o Estado de São Paulo, caracterizado como o maior produtor nacional do setor. A região Centro-Sul é responsável por 84,5% da produção total de álcool, sendo que só o Estado de São Paulo produz 61 % da produção nacional, (Ometto, 2006).

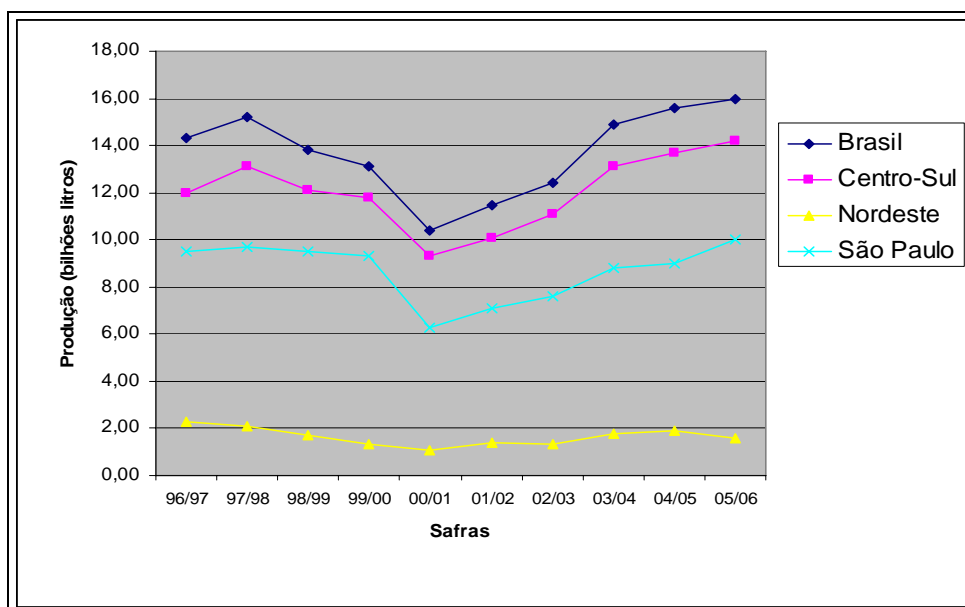


Figura 03 – Cenário da produção de Etanol no Brasil.

Fonte: Conab.

Dentro deste cenário, podemos citar a Usina São Luiz S/A como uma das principais indústrias do setor sucroalcooleiro do centro-oeste do estado de São Paulo, sendo uma das 29 usinas cooperadas com a Copersucar, considerada uma das maiores cooperativas produtoras de açúcar e álcool do mundo.

3.2.1. Caracterização da Empresa em Estudo

A Usina São Luiz S/A se localiza na Fazenda Santa Maria, no município de Ourinhos estado de São Paulo. Pertencente ao Grupo Quagliato é uma empresa que se dedica à produção de álcool e açúcar, não deixando de aproveitar os determinados resíduos gerados (bagaço) durante a produção destes produtos.

Fundada em 1951, pelo Sr. Orlando Quagliato, a empresa produziu em sua primeira safra (1951/52) o total de 13.375 sacas de açúcar (Figura 04).



Figura 04 – Usina São Luiz S/A.

Atualmente a empresa conta com um número total de aproximadamente 4.300 funcionários, sendo distribuídos entre a Divisão Industrial (800 funcionários) e a Divisão Agrícola e Automotiva (3.500 funcionários), tornando-se umas das principais empregadoras da região.

Na última safra (2006/07), a Usina São Luiz moeu um total de 2.000.000 de toneladas de cana-de-açúcar (10.000 toneladas por dia), produzindo uma média diária de 352.000 litros de álcool e 16.600 sacas de 50 kg de açúcar.

Com esta produção a empresa totalizou ao final de 200 dias de safra um montante de 70.400.000 litros de álcool e 3.320.000 sacas de açúcar. Além destes produtos, a Usina ainda comercializou 124.574 toneladas de bagaço de cana.

Com a venda destes três produtos, a Usina São Luiz faturou ao final da safra um valor acumulado de aproximadamente R\$ 173.765,000, sendo R\$ 56.320,000 oriundos da venda do álcool, R\$ 116.200,000 de açúcar e 1.245,000 do bagaço. A seguir são apresentados os preços empregados para venda destes produtos, segundo a própria empresa (Quadro 01).

Quadro 01 – Preços empregados para venda.

Considerações de Preço	Preço (R\$)
Álcool hidratado (R\$/L)	0,8
Açúcar cristal (R\$/sc)	35
Bagaço (R\$/ton)	10

Fonte: Usina São Luiz S/A.

4. METODOLOGIA

Para o início do trabalho, estabeleceu-se como limites do sistema a ser avaliado, as seguintes etapas:

- *1ª: Fase de preparação das mudas;*
- *2ª: Fase Agrícola* (preparação do solo, plantio das mudas, tratamentos culturais, colheita e transporte até a unidade de produção);
- *3ª: Fase Industrial* (todas as etapas existentes, desde a moagem da cana-de-açúcar até a produção final do álcool).

Outra fase existente no ciclo de vida do etanol é a distribuição do mesmo da usina até seus clientes, envolvendo etapas como armazenamento, transporte e distribuição final (postos de combustível). No entanto, esta etapa não foi abordada no presente trabalho, visto as dificuldades encontradas para obtenção dos dados necessários para realização da análise do inventário.

Para a obtenção dos dados, foram utilizadas referências bibliográficas obtidas através de livros, internet, trabalhos publicados anteriormente que abordam o assunto e todo o tipo de material que de alguma forma ajudaram na formulação do estudo.

Junto à empresa foram obtidos materiais específicos dos processos de produção, englobando tanto a parte agrícola, quanto a parte industrial. Dentre os materiais foram utilizados principalmente os memoriais descritivos de cada etapa, facilitando assim o entendimento de todo o sistema.

Foram realizadas entrevistas com os responsáveis por cada área da empresa, a fim de obter informações e detalhes das etapas envolvidas, assim como foram feitas observações de todo o processo (plantio, corte, transporte e unidade de produção) durante as visitas realizadas na empresa.

Como unidade funcional foi adotada a quantidade de álcool combustível necessária para se percorrer 10.000 km com um carro popular. Considerando que um carro popular percorre 10 km com um litro de álcool, chegou-se ao valor de 1000 litros.

Em relação à análise do inventário, nas duas primeiras etapas, o principal objetivo foi identificar e quantificar todos os maquinários envolvidos no processo de produção, podendo assim estimar o consumo de combustível (óleo diesel) consumido durante todas as etapas, conseguindo quantificar as emissões de gases geradas.

Outro fator importante observado foi o consumo de adubo e fertilizantes no solo e herbicidas nas lavouras.

Para estimar o consumo de combustível de cada maquinário utilizado nas duas primeiras fases, foi realizada uma visita junto ao Departamento Agrícola da Usina São Luiz e solicitado os gastos unitários de cada equipamento durante a última safra. Observou-se que os consumos medidos pela empresa de todos os equipamentos são em litros/h. Visto isso, levantou-se também, o tempo gasto por cada maquinário para desempenhar a sua função em 1 hectare, ou seja, pegando como exemplo uma colhedeira, foi levantado o dado de quanto tempo se leva pra

colher 1 hectare de cana-de-açúcar (ha/h), podendo assim calcular o consumo de óleo da máquina por hectare.

Os gastos de combustível com o transporte da cana-de-açúcar da lavoura até a unidade industrial também foram contemplados, sendo que para o transporte foram levados em consideração apenas os treminhões (caminhão com três carretas), visto que este transporte é feito quase que na sua maioria por estes, com exceção de alguns casos.

Em relação à quilometragem percorrida adotada para a realização do cálculo do consumo pelos treminhões, foi levantado junto ao departamento agrícola, as distâncias máximas, mínimas e médias dos canaviais até a unidade de produção e a partir disto adotou-se o valor médio de 20 km percorridos por cada veículo.

Feito os cálculos do consumo de óleo diesel, para estimar a quantidade de gases gerados (CO₂, CO e NO₂) devido à combustão, foi utilizado como material de apoio o relatório “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (1996), elaborado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change. Neste relatório são contempladas as emissões oriundas de diversos veículos utilizando diferentes combustíveis, sendo apresentadas tanto as emissões originadas de veículos utilizados na Europa quanto nos Estados Unidos. O veículo utilizado como referência para este trabalho foi o de transporte de carga pesada movimentado com óleo diesel e utilizado nos Estados Unidos.

Já na fase industrial, os principais aspectos observados foram as emissões gasosas, a geração de subprodutos (efluentes líquidos, resíduos, etc), a utilização de produtos químicos durante o processo e principalmente a demanda de água necessária, visto que é um setor que consome elevados volumes de água.

Apesar de consumir bastante água, a Usina São Luiz possui um importante sistema de recirculação e reciclagem das águas. No início de cada safra são aduzidos grandes volumes de água para a unidade de produção, e esta passa praticamente toda a safra em um sistema fechado, ou seja, a água é utilizada, reciclada e posteriormente volta a ser utilizada, sendo necessário repor pequenos volumes durante o período de safra.

Como material de auxílio para a elaboração do fluxograma do processo de produção do álcool hidratado, foi utilizado um material desenvolvido pela EMPRAL (Empresa de Engenharia Industrial) em Outubro de 2006, com o intuito de levantar o real balanço mássico e hídrico da Usina São Luiz a fim de otimizar o processo e aumentar a sua produção.

Para estimar a quantidade de efluentes líquidos gerados durante o processo, também foi utilizado o mesmo levantamento como base, assim como os resíduos sólidos gerados (bagaço).

Para estimar algumas das emissões atmosféricas foi utilizado um relatório que contempla as emissões gasosas oriundas da chaminé das caldeiras (quatro ao todo) movida a bagaço de cana-de-açúcar, sendo que este foi elaborado utilizando as normas da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) (Anexo 01).

Neste relatório são contempladas as emissões de Material Particulado e Óxidos de Nitrogênio, na qual as análises de Óxidos de Nitrogênio foram realizadas pelo laboratório da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Já para a quantificação das emissões de CO e CO₂ provenientes das chaminés foram realizadas medidas “in loco” através de aparelhos específicos instalados nas mesmas.

É importante salientar que toda a energia consumida pela Usina é gerada através do vapor obtido das caldeiras, sendo que após a geração do vapor, este é mandado para um turbo gerador, transformando a energia térmica em energia elétrica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do Inventário

O processo de produção do álcool hidratado, estabelecido no escopo e abordado na metodologia, se dá através de três etapas distintas, sendo duas delas especificamente agrícolas e uma industrial.

Nas duas etapas agrícolas (Preparação das Mudas e Fase Agrícola) as etapas seguem praticamente os mesmos procedimentos, indo desde a preparação do solo, passando pelo plantio das mudas, tratamentos culturais e colheita, sendo que para a 2ª Etapa (Fase Agrícola) acrescenta-se o transporte da cana-de-açúcar até a unidade de produção.

Já na fase industrial, a cana oriunda da fase agrícola sofre inúmeros processos até se transformar em álcool combustível, sendo que a unidade industrial em questão, além de produzir o etanol, também produz açúcar, o que diferencia algumas etapas do processo.

A junção das três etapas se caracteriza como um sistema linear e pode ser visualizado no fluxograma da figura 05:

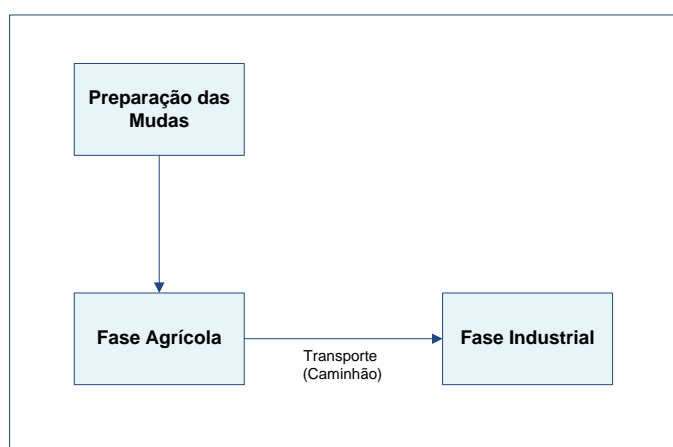


Figura 05 – Fluxograma do ciclo de vida do Etanol.

5.1.1. Fase de preparação das mudas

A análise do inventário desta etapa foi realizada considerando inicialmente as entradas para o desempenho das funções em 1 hectare.

Todos os consumos e tempos empregados para o cálculo desta etapa foram baseados em medidas realizadas durante a safra 2006/2007. Com o material obtido na Usina foi possível levantar um fluxograma das etapas existentes nesta fase (Figura 06).

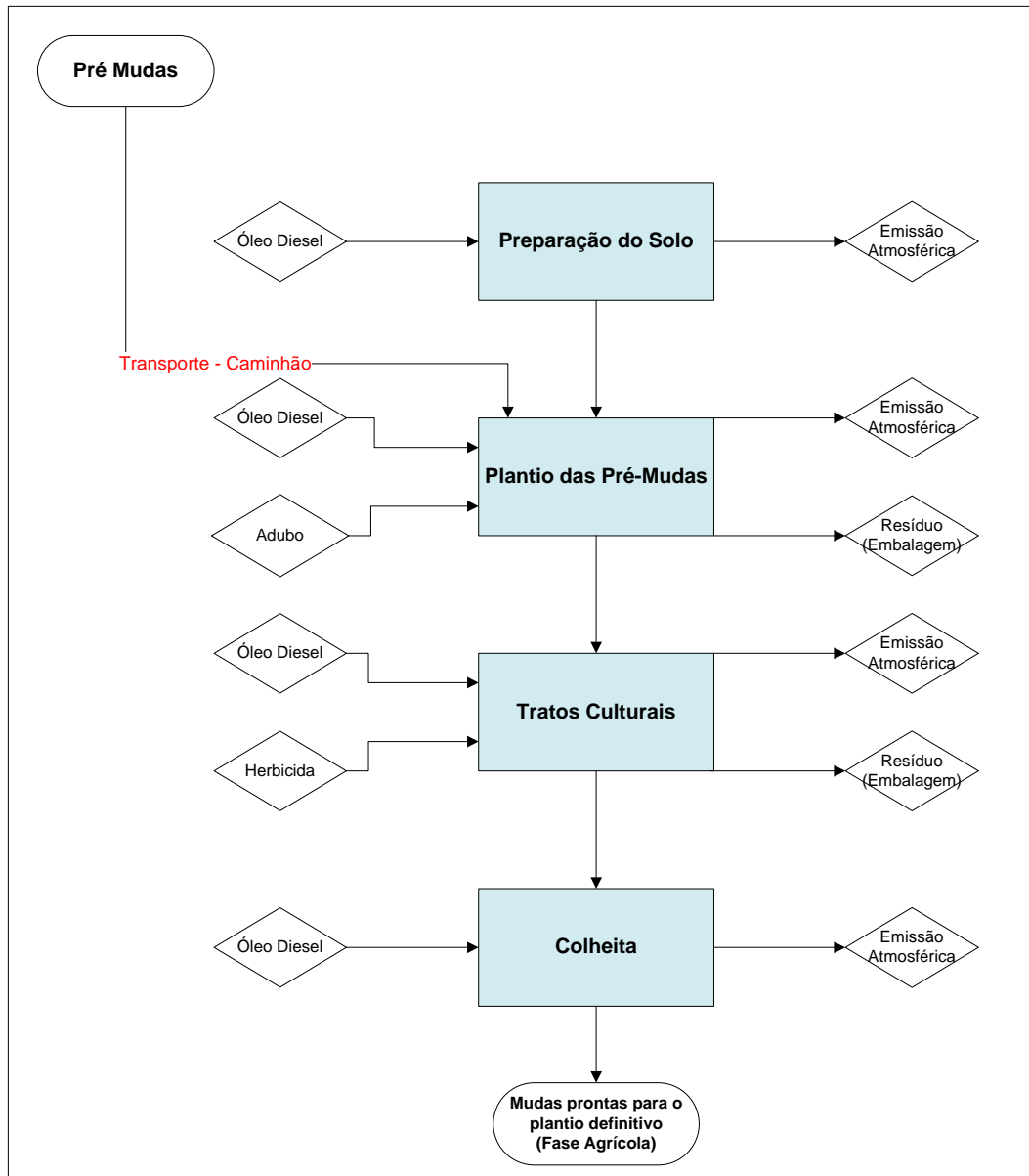


Figura 06 – Fluxograma da Fase de preparação das mudas.

Observou-se que nesta fase, tem-se como entrada as Pré-Mudas, Óleo Diesel, Fertilizante e Herbicidas, gerando conseqüentemente emissões atmosféricas, resíduos sólidos (embalagens) e as mudas definitivas.

O nome “pré-mudas” foi adotado para diferenciar as mudas compradas da Copersucar (pré-mudas) das que são geradas na própria usina (mudas), isto é, para

que não seja necessário comprar novas mudas constantemente, a usina faz o plantio das pré-mudas, posteriormente realiza a colheita e volta a replantar esta cana colhida. Este fato possibilita a multiplicação das mudas, já que de acordo com a empresa, um hectare de cana quando replantado, gera 8 novos hectares de canaviais.

Para facilitar o entendimento das entradas e saídas desta fase, cada etapa será explicada separadamente, sendo mostrados todos os detalhes.

Preparação do solo

Para a quantificação dos gastos oriundos da etapa de preparação do solo foi considerado que o terreno já passará pelo processo de limpeza e nivelamento, não sendo necessário considerar estas atividades.

Portanto, as sub-etapas quantificadas no processo de preparação do solo foram a aração e o gradagem. O objetivo desta etapa é revolver a terra a fim de promover a descompactação e conseqüentemente aumentar a infiltração de água, assim como facilitar posteriormente a formação dos sulcos para o plantio das pré-mudas de cana-de-açúcar.

Os modelos de tratores empregados e seus respectivos consumos estão contemplados no quadro 02.

Quadro 02 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Trator/Modelo	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Aração	Valtra/ MF 680	45	0,90	50,0
Gradagem	Valtra/ MF 680	28	1,20	23,3

De acordo com o quadro, o consumo total de óleo diesel nesta etapa é de 73,3 litros/ha.

Plantio das Pré-Mudas

Após o processo de preparação do solo (aração e gradagem), são feitos sulcos no solo por meio de sulcadores. Os sulcos nada mais são que canais com profundidade na ordem de 30 cm, na qual são colocadas as Pré-mudas.

Segunda a Usina, as Pré Mudas são adquiridas da Copersucar, localizada na cidade de Piracicaba – SP, estando distantes 300 km da Usina. Ainda de acordo com a empresa, para se plantar 1 hectare de cana-de-açúcar são necessários 10 toneladas de Pré-Mudas.

Portanto, considerando que um caminhão transporta 30 toneladas de Pré-mudas (Piracicaba → Usina) e que seu rendimento é de 1,0 km/litro de óleo diesel (Dados obtidos junto à empresa), concluímos que para se plantar 1 hectare são gastos 100 litros de óleo diesel neste transporte.

O plantio das Pré-mudas é feito pelo processo manual, que consiste no arremesso das canas cortadas (Pré-mudas) nos sulcos por trabalhadores da empresa, sendo que o transporte das mudas no meio das lavouras é realizado com auxílio de

caminhões. Em média, o tempo gasto para plantar 1 hectare de cana com o auxílio de 20 trabalhadores é de 1 hora e 50 minutos, ou seja, 0,55 ha/h.

Além das Pré-mudas, os sulcos recebem uma carga de fertilizantes (adubos) antes de seu fechamento, visando preservar ou restaurar as características do solo, sendo esta carga de 500 kg por hectare.

Conseqüentemente, para a aplicação dos adubos, são gerados resíduos sólidos (embalagens dos adubos). De acordo com a empresa, o adubo comprado vem armazenado em embalagens (*bag*) com capacidade de 1000 kg, sendo que a mesma pesa 4,0 kg estando vazia. Portanto a geração de resíduos sólidos nesta fase é de 0,5 embalagens por hectare ou 2,0 kg de resíduos sólidos por hectare.

Os maquinários utilizados nesta etapa e seus respectivos consumos estão apresentados no quadro 03.

Quadro 03 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Maquinário	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Abertura dos Sulcos e Adubação	Valtra BH 180	20,0	0,81	24,7
Transporte das mudas (Lavoura)	Caminhão Scania	10,0	0,55	18,2
Fechamento dos Sulcos	Valtra BH 180	12,0	1,10	10,9

O consumo de óleo diesel devido ao lançamento de adubos nos sulcos não foi computado, visto que o mesmo acontece juntamente com a abertura dos sulcos, ou seja, o mesmo trator faz os sulcos e aplica o adubo ao mesmo tempo.

Portanto, o consumo total de óleo diesel desta etapa é de 153,8 litros/ha, ou seja, é a soma do consumo gasto nas atividades agrícolas mais o transporte das pré-mudas de Piracicaba até a Usina.

É importante lembrar que um canavial produz de quatro a cinco cortes, sendo necessária após esse período a realização do replantio.

Tratos Culturais

Durante o período de crescimento das mudas, ocorrem os tratos culturais do canavial, na qual herbicidas são aplicados com o auxílio de equipamentos denominados “Uniport”, ou seja, tratores específicos para a aplicação de herbicidas.

Um dos principais aspectos positivos do Uniport é a sua grande haste, que com 21 metros possibilita desempenhar sua função em apenas 4 minutos por hectare com uma única máquina.

A quantidade aplicada de herbicidas nas lavouras de cana-de-açúcar na safra em questão foi em média de 250 litros por hectare, sendo que a relação de diluição deste herbicida é de 1:600, ou seja, para cada litro de herbicida são adicionados 600 litros de água como diluente. Portanto, a quantidade pura de herbicida aplicada em um hectare é de:

$$\begin{array}{l}
 600 \text{ litros (água + herbicida)} \text{ ----- } 1 \text{ litro herbicida puro} \\
 250 \text{ litros (água + herbicida)} \text{ ----- } X
 \end{array}$$

X = 0,42 litros herbicida puro

Segundo a usina, este herbicida utilizado vem armazenado em embalagens de 1,0 e 5,0 litros. Para o cálculo dos resíduos gerados foi levado em consideração apenas as embalagens de 1,0 litro e que a mesma estando vazia pesa 200 gramas. Portanto a geração de resíduos é de 0,42 embalagens ou 0,084 kg por hectare.

É importante enfatizar que todas as embalagens dos herbicidas, após serem utilizadas são armazenadas e posteriormente encaminhadas para uma empresa de reciclagem de embalagens específica.

O cálculo do consumo de óleo diesel do Uniport é apresentado no quadro 04.

Quadro 04 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Trator/Modelo	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Aplicação de Herbicidas	Jacto/ Uniport 2000	8,5	15	0,60

Como mencionado anteriormente podemos observar que o consumo de combustível do Uniport é baixo, fato que se deve devido a sua grande eficiência de aplicação.

Colheita

A colheita da cana-de-açúcar ocorre por duas formas; manualmente, na qual a palha da cana é queimada (emissão de CO₂, NO_x, SO_x, material particulado) e posteriormente o corte é efetuado por trabalhadores contratados pela empresa; e a mecanizada, que consiste no uso de colhedoras que efetuam o corte sem a necessidade da queima da palha.

No processo de colheita manual os maquinários utilizados são: tratores (puxam as carretas ou “julietas”) e carregadeiras (carregam as carretas com cana).

Já na colheita mecanizada, além da colhedora é necessário o auxílio de um trator para o transporte da carreta de trasbordo, que recebe a cana da colhedora já cortada (Figura 07).



Figura 07 – Colheita mecanizada.

Segundo dados da empresa, na safra 2006/07 aproximadamente 50% da colheita foi realizada por colhedoras e 50% manualmente.

Em relação à produção, a média diária (8 horas de trabalho) de corte de um trabalhador é de 8 toneladas, enquanto que a de uma colhedora é de 53 toneladas/h, ou seja, 424 toneladas por dia, equivalendo à produção de aproximadamente 50 trabalhadores.

Devido às dificuldades em estimar o consumo dos maquinários utilizados no processo de colheita manual, visto a inexistência de um procedimento padrão de trajeto pelos tratores e carregadeiras, estabeleceu-se que para o cálculo do consumo de combustível desta etapa, o corte da cana seria todo pelo processo mecanizado, não existindo o corte manual (Quadro 05).

Quadro 05 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Maquinário	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Colheita	Colhedora Case A7700	42	0,53	79,2
Armazenamento da cana cortada	Trator Maxion 9150	9,9	0,53	18,7

O consumo total de óleo diesel para realizar a colheita de 1 hectare de cana-de-açúcar é de 97,9 litros.

Sabe-se que com 1 hectare de cana (mudas) são produzidos 8 hectares de novos canaviais (matéria-prima), ou seja, aquele hectare de cana que foi plantado e que passou por todas as etapas contempladas na fase de preparação das mudas, após ser colhido e replantado com a finalidade de gerar matéria-prima para produção do etanol, produzira 8 novos hectares.

Com o término desta etapa, as mudas estão prontas para serem plantadas definitivamente e virarem matéria-prima para a produção do álcool hidratado.

Todas as entradas e saídas desta fase são apresentadas no quadro 06:

Quadro 06 – Entradas e Saídas do sistema.

	Quantidade	Unidade
Consumo de Pré-Mudas	10.000	kg/ha
Consumo de Óleo Diesel	325,6	litros/ha
Consumo de Fertilizantes	500	kg/ha
Consumo de Herbicidas	250	litros/ha
Geração Resíduos (embalagens)	2,084	kg/ha
Produção de Mudanças (Plantio definitivo)	80.000	kg/ha

Tendo em mãos o volume total de óleo diesel consumido foi possível calcular as emissões de gases geradas (NO₂, CO₂ e CO). Para isso utilizou-se de base o relatório elaborado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* chamado “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (1996).

Neste relatório foram realizadas estimativas das emissões de gases em diversos veículos utilizando diferentes combustíveis e desempenhando cada um sua

função. Para a estimativa deste trabalho tomou-se como base os veículos utilizados para transporte de cargas pesadas utilizando como combustível o óleo diesel, visto que são os veículos que mais se aproximam da realidade do estudo.

Além disto, neste relatório foram avaliados tanto veículos utilizados nos Estados Unidos como na Europa, sendo que para este trabalho foi utilizado os valores obtidos em veículos utilizados nos Estados Unidos (Quadro 07).

Quadro 07 – Valores das emissões oriundas da queima de óleo diesel para veículos destinados a transportar cargas pesadas.

Estimativa das Emissões para Veículos de Carga Pesada movidos a Óleo Diesel (Consumo de 2,4 km/litro)		
Emissões (g/kg de óleo diesel consumido)		
NO ₂	CO ₂	CO
11,32	3.172,31	14,01

Fonte: IPCC 1996.

Com base nestes valores, para estimar as emissões geradas na fase de preparação das mudas, basta calcular a massa de óleo diesel consumido e correlacionar com os valores acima.

Sabendo que a massa específica do óleo diesel é de 0,85 kg/litro, basta multiplicar este valor pelo volume total de combustível consumido e posteriormente relacionar com as emissões do IPCC.

$$\text{Massa Óleo Diesel} = 0,85 * 325,6 = \mathbf{276,8 \text{ Kg de óleo diesel.}}$$

Portanto, a massa de gases gerados durante a fase de preparação das mudas pode ser observada no quadro a seguir (Quadro 08).

Quadro 08 – Emissões geradas.

Emissões (em kg/ha)		
NO ₂	CO ₂	CO
3,14	878,10	3,88

5.1.2. Fase Agrícola

A fase agrícola nada mais é que uma repetição da fase de preparação das mudas, sendo que o principal aspecto que as diferencia é que a cana-de-açúcar colhida nesta fase não será replantada, e sim enviada diretamente para a unidade industrial para a produção do etanol. Portanto, além das etapas contempladas anteriormente na fase de preparação das mudas, o transporte da cana até a usina também foi contemplado nesta fase (Figura 08).

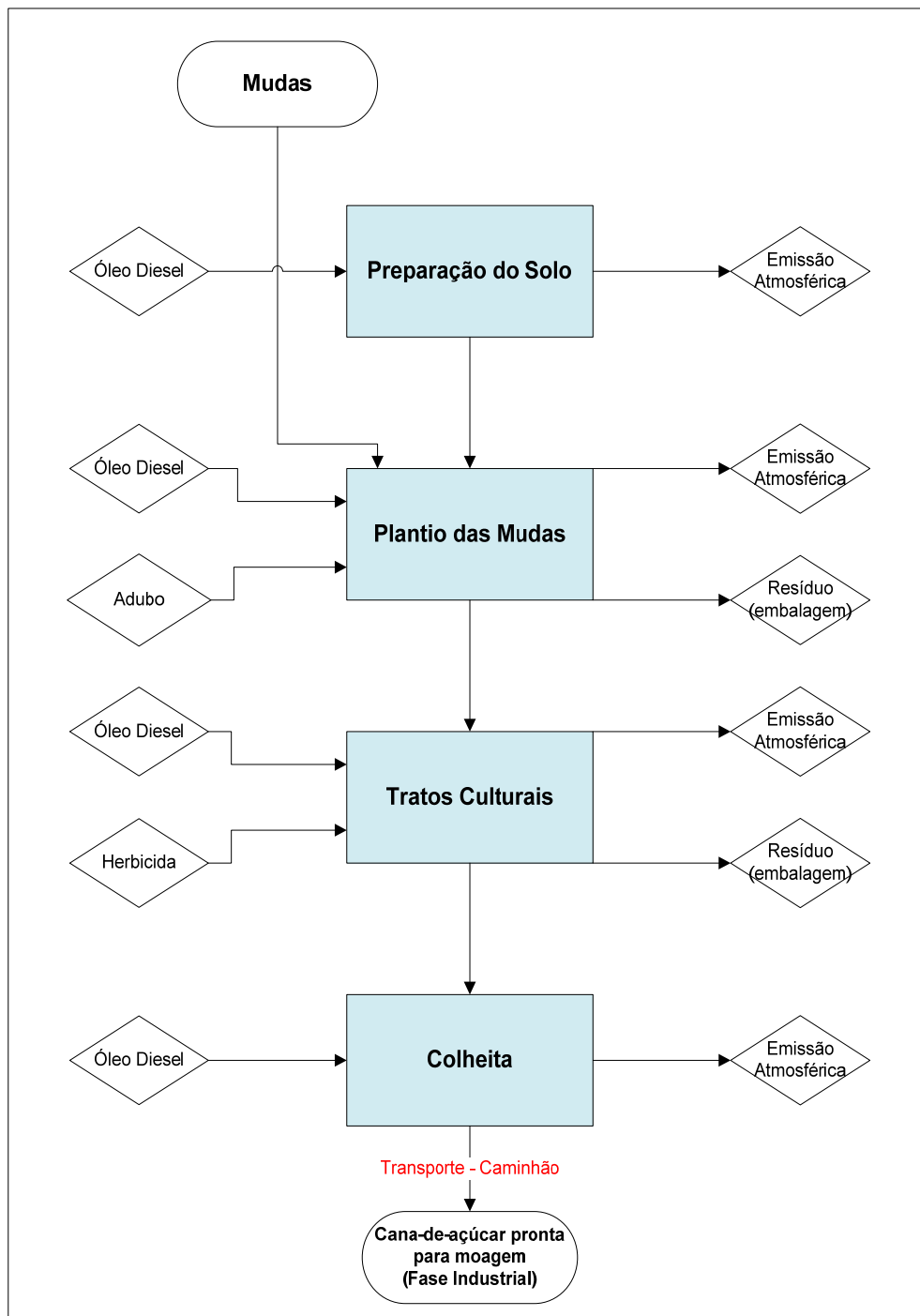


Figura 08 – Fluxograma da Fase Agrícola.

Como as etapas desta fase são iguais as da fase de preparação das mudas, foram apresentados apenas os resultados do consumo de cada atividade, com exceção da etapa de transporte até a unidade de produção, que apresenta uma explicação de como se chegou ao resultado estimado do consumo.

Preparação do solo

Quadro 09 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Trator/Modelo	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Aração	Valtra/ MF 680	45	0,90	50,0
Gradagem	Valtra/ MF 680	28	1,20	23,3

Plantio das Mudanças

Quadro 10 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Maquinário	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Abertura dos Sulcos e Adubação	Valtra BH 180	20,0	0,81	24,7
Transporte das mudas	Caminhão Scania	10,0	0,55	18,2
Fechamento dos Sulcos	Valtra BH 180	12,0	1,10	10,9

Tratos Culturais

Quadro 11 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Trator/Modelo	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Aplicação de Herbicidas	Jacto/ Uniport 2000	8,5	15	0,60

Colheita

Quadro 12 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Maquinário	Consumo (litros/h)	Tempo (ha/h)	Consumo Total (litros/ha)
Colheita	Colhedeira Case A7700	42	0,53	79,2
Armazenamento da cana cortada	Trator Maxion 9150	9,9	0,53	18,7

Transporte até a Usina

O transporte da cana-de-açúcar até a usina é feito por treminhões (caminhões que puxam três carretas), sendo que a cana pode estar inteira (corte manual) ou picada em toletes de 20 cm a 25 cm (colheita mecânica).

Para estimar o consumo de combustível dos treminhões foi levantado junto a usina, quais eram as distâncias dos canaviais até o local do recebimento da cana na unidade de produção. Os dados mostram que as plantações mais próximas da unidade de produção se localizam a 2 km e as mais distantes a 43 km, sendo que na média a distância fica em torno de 18 km. Portanto para o cálculo dos consumos adotou-se uma distância média de 20 km (Quadro 13).

Quadro 13 – Consumo de óleo diesel por atividade.

Atividade	Caminhão/Modelo	Consumo (km/l)	Distância (km)	Consumo Total (litros)
Transporte da Cana até a unidade de produção	Scania/360	1,0	20	20

Sabe-se que um hectare de cana, produz em média 80 toneladas de cana-de-açúcar e que um treminhão transporta por viagem 50 toneladas de cana, portanto para transportar 80 toneladas são precisos 1,60 treminhões.

Visto isso o consumo total de óleo diesel para transportar a cana produzida em um hectare é de $1,60 \times 20 = 32,0$ litros.

Todas as entradas e saídas desta fase são apresentadas no quadro 14:

Quadro 14 – Entradas e Saídas da Fase Agrícola.

	Quantidade	Unidade
Mudas (Plantio definitivo)	10.000	kg/ha
Consumo de Óleo Diesel	257,6	litros/ha
Consumo de Fertilizantes	500	kg/ha
Consumo de Herbicidas	250	litros/ha
Geração Resíduos (embalagens)	2,084	kg/ha
Produção de Cana (Matéria-Prima)	80.000	kg/ha

A estimativa de emissões atmosféricas oriundas da combustão do óleo diesel desta fase também foi baseada no relatório do IPCC abordado anteriormente e estão apresentadas a seguir (Quadro 15).

Quadro 15 – Emissões oriundas da combustão do óleo diesel da fase agrícola.

Emissões (em kg)		
NO _x	CO ₂	CO
2,48	694,70	3,07

5.1.3. Fase Industrial

Após a Fase Agrícola, a cana-de-açúcar está pronta para passar pelo processo industrial de produção do etanol. Com base nos materiais coletados na empresa e nas visitas realizadas a mesma foi possível levantar o fluxograma do processo, sendo apresentado na figura 09.

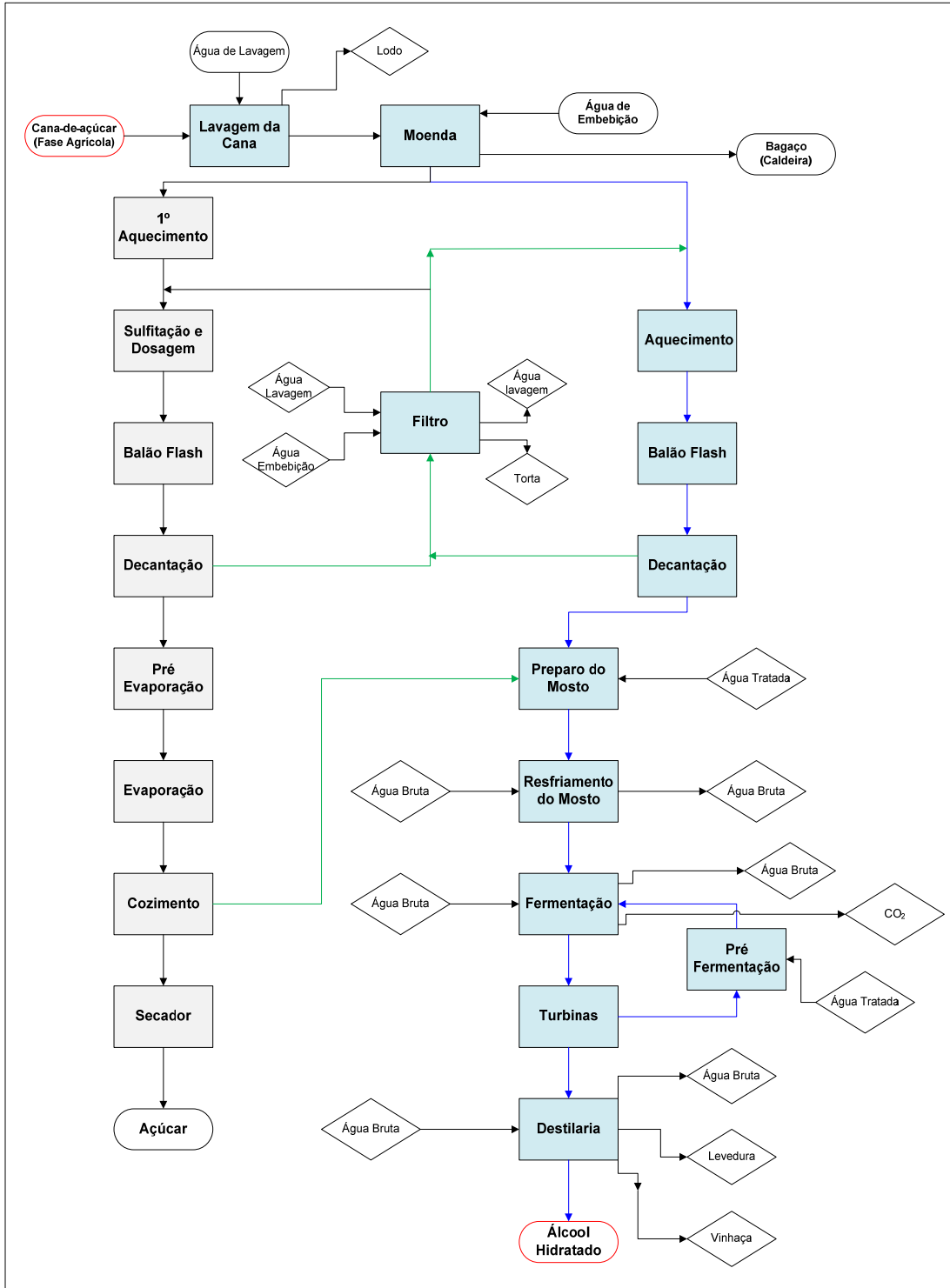


Figura 09 – Fluxograma da Fase Industrial do processo de produção do etanol.

Como pode ser observado no fluxograma apresentado, a Usina São Luiz, além de produzir etanol, também produz açúcar. Portanto para melhor visualização, as etapas contempladas no processo de produção do álcool estão destacadas em azul.

Os fluxos destacados em verde mostram a transferência de caldo ocorrendo no decorrer do processo, ou seja, parte do caldo oriundo do processo de produção do açúcar, em certas etapas são transferidos para o processo de produção do álcool.

Observou que as entradas desta fase se caracterizam basicamente pelo consumo de cana-de-açúcar, água bruta e água tratada. Como saídas o bagaço da cana, sobra das águas condensadas, Vapor de água, CO₂ e levedura.

Existem outros sub-produtos que são gerados durante esta fase, no entanto estes não foram considerados como saídas do sistema por serem reaproveitados posteriormente dentro do próprio ciclo de produção, como a vinhaça, o lodo da água de lavagem e a torta do filtro, que são aplicados nas lavouras de cana como fertilizantes.

Outro aspecto que não foi considerado nesta fase foi o consumo de energia elétrica, visto que toda a energia consumida na usina é gerada da queima do bagaço oriundo da moenda.

No entanto, durante a queima do bagaço ocorre a liberação de emissões atmosféricas. Alguns destes gases gerados foram quantificados (CO, CO₂, NO₂ e material particulado) e também foram apresentados ao final do inventário desta fase.

Lavagem e preparo da cana-de-açúcar

A fase industrial inicia-se com o recebimento da cana-de-açúcar, sendo que a primeira etapa do processo consiste na lavagem desta para remoção dos resíduos que se acumulam sobre a mesma durante o processo de corte e transporte.

Atualmente, devido ao crescimento do processo de corte mecanizado (canas picadas), este processo de lavagem foi em muitos casos retirado do processo, pois além de consumir um volume excessivo de água, ao efetuar a lavagem grande parte da sacarose contida na cana também era retirada, diminuindo assim a eficiência do processo. Na Usina São Luiz os processos de lavagem são intercalados, ou seja, quando a cana que é recebida é oriunda do corte mecanizado, a mesma não sofre o processo de lavagem caso contrário o processo é feito (Figuras 10 e 11).



Figura 10 – Recebimento da cana oriunda do corte mecanizado (sem lavagem)



Figura 11 – Recebimento da cana oriunda do corte manual (com lavagem)

Durante a safra 2006/2007 o gasto com água bruta para lavagem da cana foi de 2083 m³/h, sendo que destes, apenas 63,0 m³/h são aduzidos diretamente do rio. O restante do volume necessário (2020,0 m³/h) são oriundos do próprio sistema, ou seja, a água que lava a cana é mantida em um sistema fechado, sendo reaproveitada após passar por uma lagoa de sedimentação para retirada dos sólidos suspensos da água, como mostra a figura 12.

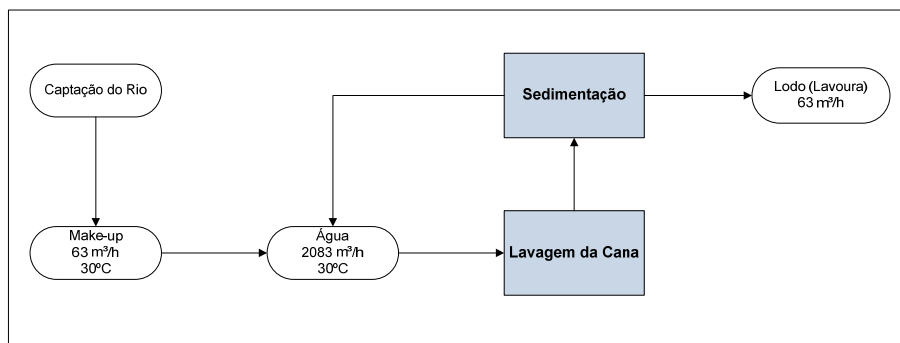


Figura 12 – Fluxograma do consumo de água para lavagem da cana.

Apesar de gerar um grande volume de lodo (63 m³/h), este não pode ser considerado como uma saída do sistema, pois este lodo após ser removido da lagoa é misturado com a vinhaça e posteriormente encaminhado para as lavouras de cana-de-açúcar como fertilizante, visto que em sua composição existem apenas terra e bagacilhos (pedaços pequenos de cana).

Após a lavagem a cana é conduzida até o setor de preparo que é constituído de dois jogos de facas e posteriormente de um desfibrador. O objetivo básico do preparo da cana é aumentar a sua densidade e, conseqüentemente, a capacidade de moagem, bem como realizar o máximo rompimento das células para liberação do caldo nelas contido, obtendo-se, portanto, uma maior extração.

Extração do Caldo (Moenda)

Após passar pelo processo de lavagem e pelo setor de preparo, a cana-de-açúcar sofre o processo de moagem, dando origem ao caldo. Durante este processo a cana é molhada com água (água de embebição) com a finalidade de aumentar a eficiência do processo de extração do caldo pela moenda. O volume de água gasto na embebição é de 95,0 m³/h, sendo este oriundo das caixas de armazenamento de condensados, ou seja, o vapor que é condensado durante todas as etapas.

Os fluxos de água condensada serão mostrados após a descrição das etapas de lavagem e embebição dos filtros, visto que essas três etapas (embebição da moenda, embebição do filtro e lavagem do filtro) são as que demandam praticamente toda a água condensada.

Nesta etapa é gerado um sub-produto, o bagaço da cana. No entanto nem todo o bagaço gerado pode ser considerado como saída do sistema, já que grande quantidade do mesmo é enviado para as caldeiras para geração de vapor e energia elétrica.

Portanto do total de bagaço gerado (108,0 ton/h), apenas 11,0 ton/h sobram, sendo o restante queimado na etapa de produção de energia.

Etapa de Filtração

Nesta etapa, o chamado lodo de caldo oriundo tanto dos decantadores do processo de produção do álcool quanto os do processo de produção de açúcar, passam por uma filtração, sendo retidos os sólidos maiores e dando origem a um novo caldo.

Assim como na etapa de moagem da cana, certa quantidade de água é adicionada ao lodo de caldo (água de embebição). Além desta água, nesta etapa ocorre consumo de água para lavagem das telas do filtro, que com o passar do tempo vão se sujando e necessitam de lavagem.

De acordo com os dados levantados durante a safra 2006/2007, foram gastos nos filtros, 25,0 m³/h de água no processo de embebição e 40,0 m³/h no processo de lavagem das telas, sendo que toda a água gasta nestas etapas são oriundas da caixa de condensados. A água utilizada na lavagem das telas, posteriormente ainda é aproveitada para embebição da moenda (circuito fechado). Este processo pode ser melhor visualizado no fluxograma a seguir (Figura 13).

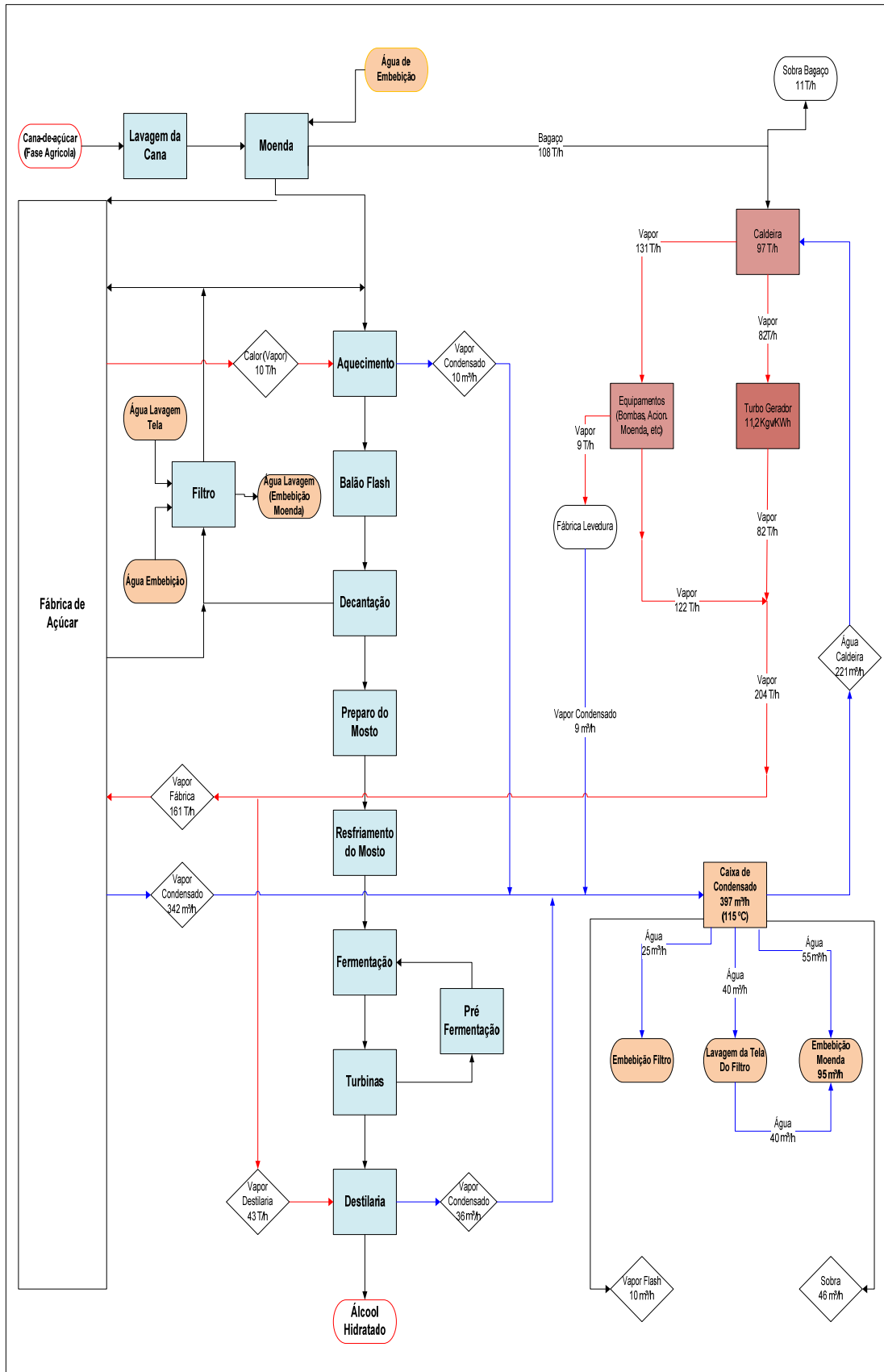


Figura 13 – Fluxograma das águas condensadas.

Nesta etapa, não podemos esquecer que durante o processo de limpeza das telas dos filtros é gerado 17,0 toneladas por hora de uma “torta” muito rica em nutrientes. Esta “torta” por apresentar esta característica, após ser seca é utilizada como adubo nos canaviais da Usina São Luiz, substituindo o adubo convencional e contribuindo significativamente para o bem do meio ambiente, visto que apesar de ser um subproduto não pode ser considerado como saída do sistema.

Como observado no fluxograma, são gerados 46,0 m³/h de água que sobra da caixa de águas condensadas. Esta água por não apresentar nenhuma característica de efluente é jogada diretamente de volta ao rio sem nenhum tratamento. No entanto ela foi considerada como uma das saídas do sistema, assim como os 10,0 m³/h que evaporam (Vapor Flash).

Aquecimento, Balão Flash e Decantação

Nestas etapas do processo não ocorrem entradas e saídas do sistema, sendo que na etapa de aquecimento o único processo que acontece é a transformação do vapor em condensado e na etapa do Balão Flash a evaporação (Vapor Flash) de 1,0 m³/h de oxigênio contido no caldo. O Balão Flash é utilizado para remover o ar contido do caldo e facilitar a etapa de decantação.

Na etapa de decantação do caldo também não ocorrem entradas no sistema, se destacando apenas pelo processo de envio do lodo oriundo da decantação para a etapa de filtração abordada anteriormente.

Preparação do Mosto

O mosto nada mais é que a mistura do caldo proveniente dos decantadores, do Mel Final oriundo do processo de cozimento da Fábrica de açúcar e de um certo volume de água tratada oriunda da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Usina (Figura 14).



Figura 14 – Estação de Tratamento de Água (ETA Usina São Luiz)

A água tratada que é inserida na preparação do mosto é oriunda do rio próximo da Usina. O volume de água utilizado para a preparação do mosto na safra 2006/2007 foi de 36,0 m³/h.

Além da água tratada utilizada para preparação do mosto, nesta etapa utiliza-se também água bruta no processo de resfriamento do mosto, visto que a temperatura inicialmente que é de 75 °C posteriormente passa a ser de 60 °C. Apesar de utilizar 329 m³/h de água para desempenhar esta função, esse volume não pode ser contemplado integralmente como entrada e saída do sistema, pois essa água trabalha em um circuito fechado, sendo reutilizada posteriormente. Portanto deve se contemplar apenas as perdas que ocorrem no processo de reciclagem desta água.

Visto que as etapas de Fermentação e Destilação apresentam o mesmo sistema de reciclagem de água, todas as entradas e saídas oriundas das perdas destas três etapas (resfriamento do mosto, resfriamento das dornas e resfriamento das colunas de destilação) serão melhor explicadas após a apresentação da etapa de Destilação.

Fermentação

Pré-fermentação

Nesta etapa do processo é onde ocorre à diluição do fermento, produto essencial para a fermentação. Para a diluição do fermento são adicionados 39,0 m³/h de água tratada oriunda da ETA da Usina, sendo esta considerada como a única entrada, visto que a quantidade de fermento utilizado é considerado insignificante, já que apenas uma pequena quantidade do mesmo é inserida no processo no início da safra. Isto ocorre porque durante o decorrer da safra, os microorganismos se multiplicam muito, chegando a gerar levedura em demasia como sub-produto.

Fermentação propriamente dita

É nesta fase que os açúcares são transformados em álcool. As reações ocorrem em tanques denominados dornas de fermentação, onde se misturam o caldo e o fermento diluído (Figura 15).



Figura 15 – Dornas de Fermentação.

Durante as reações, ocorre intensa liberação de gás carbônico (CO₂). O tempo de fermentação varia de 4 a 12 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.

Outro sub-produto gerado nesta etapa é a levedura, ou seja, o excesso de microorganismos que se reproduzem durante a fermentação e que devem ser retirados.

Portanto, nesta etapa devem ser contempladas apenas as emissões de CO₂ que ocorrem durante o processo de fermentação e a retirada do excesso de levedura, pois a água bruta que faz o resfriamento das dornas (1.171 m³/h), como já mencionado anteriormente, circula em um circuito fechado, sendo reutilizada posteriormente.

De acordo com os relatórios industriais, foram emitidos 10,6 toneladas por hora de CO₂ e gerados 308 kg/h de levedura nesta etapa durante a safra 2006/2007.

Destilação

O álcool presente no vinho oriundo da etapa de fermentação é recuperado por destilação, processo este que se utiliza dos diferentes pontos de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, levando a separação de cada uma.

O processo de destilação se dá através de várias colunas de destilação, sendo que na primeira, o etanol é separado do vinho e sai com a flegma com uma concentração de 92°GL, recebendo o nome de álcool de 2^a. Nesta coluna também ocorre a retirada de um sub-produto rico em matéria orgânica, nitrogênio, potássio e fósforo, denominado vinhaça, sendo amplamente utilizada como fertilizante nas lavouras de cana (UNILINS, 2007).

Segundo a Usina, para cada litro de álcool produzido são gerados 13 litros de vinhaça.

Na coluna seguinte, através da injeção de vapor, ocorre a concentração da flegma a uma graduação de aproximadamente 96°GL, gerando assim o álcool hidratado. A média de produção de álcool hidratado horária durante a safra em questão foi de 14.600 litros (UNILINS, 2007).

Durante esta etapa apesar de ser gerado grande volume de vinhaça (179,0 m³/h), esta não pode ser considerada como um efluente, visto que por ser rica em nutrientes ela é integralmente aplicada como fertilizante nas lavouras de cana.

Vale ressaltar que apesar de ser utilizada em grande escala nas usinas como fertilizante, deve-se tomar muitos cuidados antes de aplicar a vinhaça no solo, pois a mesma apresenta altos valores de DBO (~17.000 mg/L) (Copersucar, 2007). Caso sua aplicação ocorra de forma inadequada e esta venha a atingir corpos d'água superficiais ou subterrâneos, as conseqüências de poluição podem ser grandes, prejudicando muito o ecossistema aquático.

Balanço Hídrico

Para facilitar a visualização de todo o consumo de água durante o processo de produção do etanol foi elaborado um fluxograma apresentando todos os fluxos de água gastos.

Vale ressaltar que a água captada do rio para lavagem da cana (63,0 m³/h), não pode ser levada totalmente em consideração como entrada do processo de produção, pois nem toda cana lavada é destinada a produção do álcool, sendo uma grande parte enviada para produção de açúcar.

Portanto, para o cálculo da porcentagem de cana destinada apenas a produção do álcool, foi levantado a quantidade de litros produzida por hora e o volume de álcool produzido com uma tonelada de cana, sendo considerados já todas as perdas do processo. Com base nos dados da produção da safra, adotou-se uma média de 90 litros de álcool por tonelada de cana, sendo produzidos 14.600 litros por dia. Com isso:

$$\text{Cana}_{(\text{álcool})} = 14.600 \text{ litros} / (90 \text{ litros/ton.cana}) = \mathbf{163,0 \text{ toneladas de cana.}}$$

Feito este cálculo, levantou-se posteriormente qual a quantidade total de cana moída por hora, chegando ao valor de 413 toneladas. Portanto:

$$\%_{(\text{cana álcool})} = (163,0 / 413,0) * 100 = \mathbf{40 \%} \text{ (destinada a produção de álcool)}$$

Contudo, conclui-se que a quantidade de água considerada como entrada do sistema de produção do etanol é de 40 % do volume total (63,0 m³/h), ou seja, um volume de 25,2 m³/h de água (Figura 16).

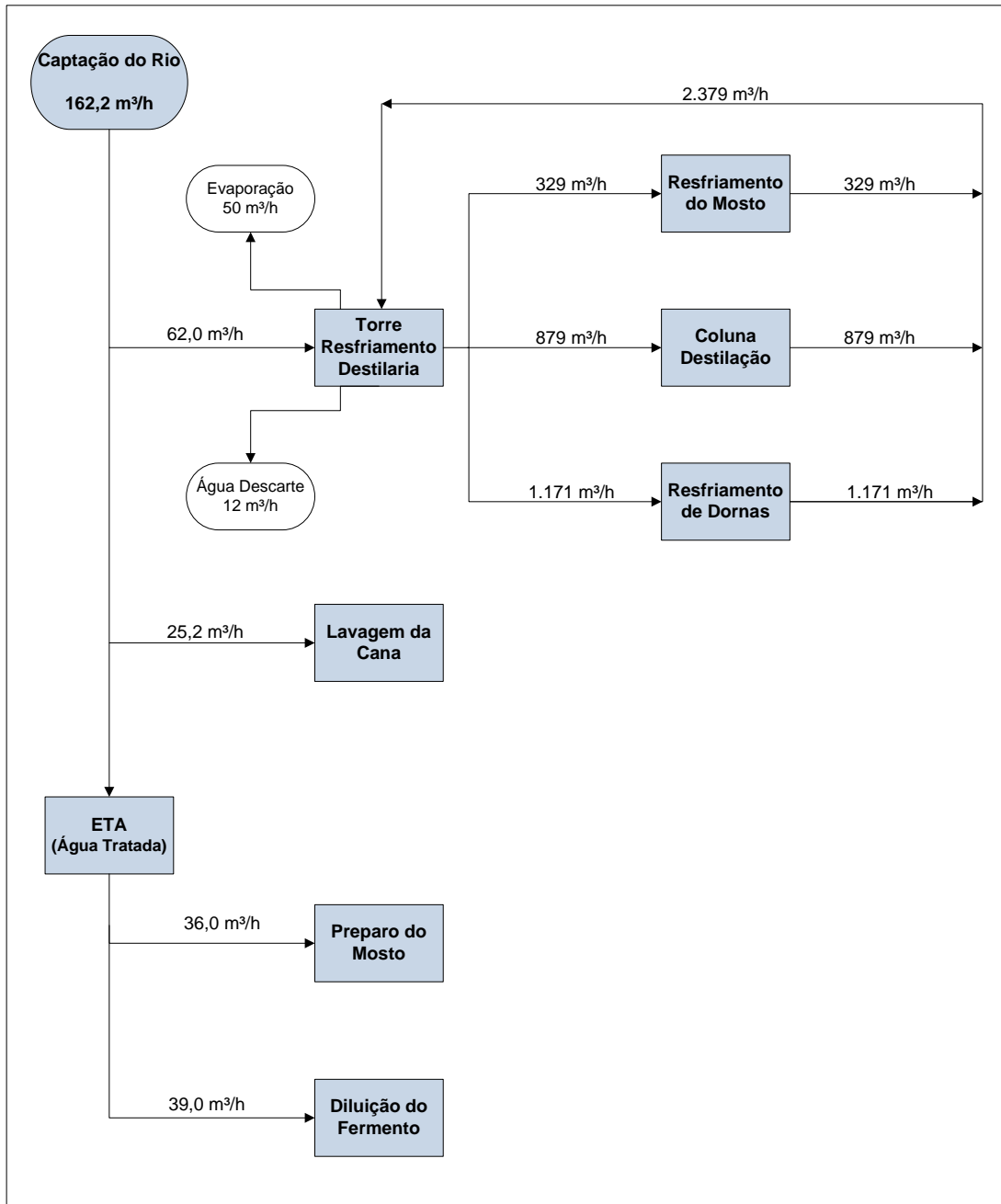


Figura 16 – Fluxograma do consumo de água durante o processo de produção do Etanol.

Observa-se através deste fluxograma que na torre de resfriamento ocorre a perda de água através de duas formas, uma por evaporação e outra pela geração da água de descarte (Figura 17). No entanto, apenas a água evaporada foi considerada como saída do sistema, já que a descartada é misturada com a vinhaça e utilizada como fertilizante nos canaviais.



Figura 17 – Torre de Resfriamento de Água.

Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica da Usina São Luiz pode ser considerado elevado, atingindo uma demanda média de 7.200 KW.h. Este consumo se comparado com a de uma cidade, seria suficiente para suprir a demanda de aproximadamente 55.000 habitantes, considerando que uma pessoa consome em média 0,125 KW.h ou 3,0 KW.dia.

Entretanto, todo este consumo de energia não foi considerado na análise do ciclo de vida do etanol, pois a mesma é gerada da própria empresa, ou seja, o bagaço que é gerado ao moer a cana-de-açúcar para extração do caldo, ao invés de virar um sub-produto, ele é enviado para as caldeiras, onde ocorre a queima e a geração de vapor. Posteriormente este vapor é enviado para um Turbo Gerador (Toshiba) transformando a energia térmica em energia elétrica (Figura 18 e 19).



Figura 18 – Turbo Gerador Toshiba em operação.



Figura 19 – Painel do Gerador indicando a energia gerada (7.191 MW).

Apesar de a energia produzida não ser considerada no inventário desta etapa, durante a queima do bagaço da cana nas caldeiras, ocorre à geração de gases e conseqüentemente a formação de cinzas (fuligem) (Figura 20).

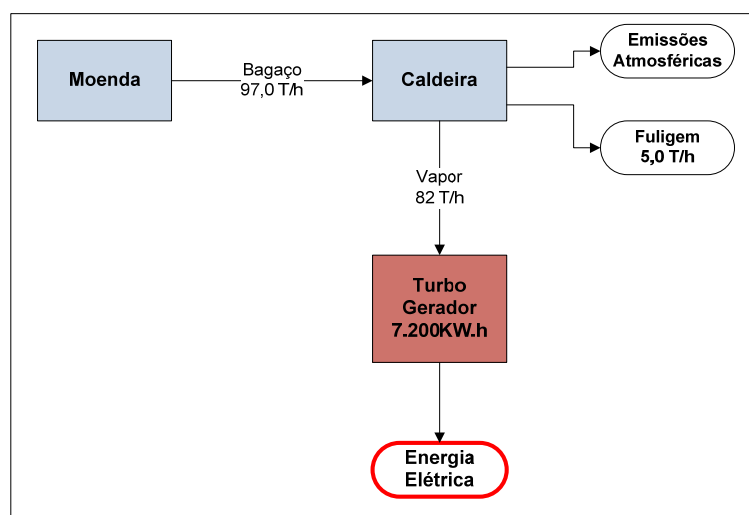


Figura 20 – Etapa de produção de energia elétrica.

No entanto, destes dois sub-produtos podemos considerar apenas as emissões atmosféricas como saída do sistema, pois a fuligem acumulada no interior das caldeiras após ser retirada é enviada juntamente com a torta oriunda da etapa de filtração do caldo para as lavouras de cana-de-açúcar como fertilizantes, permanecendo dentro do próprio sistema de produção.

Para estimar as emissões atmosféricas oriundas da queima do bagaço nas caldeiras foi utilizado um relatório elaborado em Agosto de 2006 seguindo todos os procedimentos da CETESB e medidas “in loco” realizadas através de aparelhos instalados nas chaminés. As medidas “in loco” realizadas visaram avaliar as emissões de CO e CO₂, enquanto que o relatório foi utilizado para levantar os dados de emissões de NO₂ e material particulado.

As amostras realizadas para a elaboração deste relatório foram feitas nas quatro caldeiras existentes na Usina São Luiz (caldeiras 03, 04, 05 e 06), sendo que para a medida de material particulado emitido foram coletadas amostras em três horários e para as análises de Óxidos de Nitrogênio foram coletadas amostras em 9 horários (Anexo 01).

Devido à extensão do relatório foram apresentados no anexo 01 apenas os resultados de uma das caldeiras (caldeira 03). No entanto, avaliando os resultados das outras três caldeiras (caldeiras 04, 05 e 06), constatou que os valores são semelhantes.

Portanto para a estimativa das emissões, realizou-se a média das coletas, tanto para material particulado (3 amostras), quanto para Óxido de Nitrogênio (9 amostras) e multiplicou-se este valor por quatro, ou seja, o número de caldeiras, chegando assim a emissão total gerada pela usina, como mostrado abaixo:

Material Particulado:

Col 01 = 11,7 kg/h Média = 14,0 kg/h de MP.
 Col 02 = 10,5 kg/h
 Col 03 = 19,8 kg/h

Total Emitido pela Usina = 14,0 x 4 caldeiras = 56,0 kg/h de MP

Óxido de Nitrogênio:

(Ver valores das coletas no anexo 01)

Média = 9,7 kg/h de NO₂

Total Emitido pela Usina = 9,7 x 4 caldeiras = 38,8 kg/h de NO₂

Como visto no item “Balanço Hídrico” anteriormente apresentado, 40 % da cana-de-açúcar que entra na usina é destinada a produção do álcool. Portanto para as estimativas das emissões, também foi utilizado este valor, ou seja, desta emissão calculada, apenas 40% deve ser considerada como saída do sistema de produção do etanol, chegando ao valor de **22,4 kg/h de MP e 15,5 kg/h de NO₂**.

Já para as emissões de CO e CO₂ foi utilizado um medidor portátil de medição de gases da marca Confor (Modelo – Sprint 2000^{xt}). Este medidor fornece leituras simultâneas da concentração de CO (mg/m³) e qual a porcentagem de CO₂ presente no efluente gasoso. Para a realização do cálculo da massa emitida dos dois gases foram pegos os dados de 3 amostras realizadas em dias diferentes e calculada a média (Quadro 16). Outro dado apresentado no quadro a seguir foi a vazão emitida do efluente gasoso, sendo que este valor foi obtido do Anexo 01 apresentado anteriormente.

Quadro 16 – Leituras de CO e CO₂.

Parâmetro	Leituras			Média das Leituras
	14/10/2007	15/10/2007	16/10/2007	
CO (mg/m ³)	120	246	120	162
CO ₂ (% vol.)	9,3	9,2	9,7	9,4
Vazão (m ³ /h)	133.223	135.252	133.659	134.000

Portanto, para o cálculo da massa de CO emitida basta multiplicar a vazão do efluente pela concentração:

$$\begin{array}{l} 162 \text{ mg de CO} \text{ ----- } 1 \text{ m}^3 \text{ de efluente gasoso} \\ X \text{ mg de CO} \text{ ----- } 134.000 \text{ m}^3 \text{ de efluente gasoso} \end{array}$$

$$X = 21.708.000 \text{ mg} = \mathbf{21,7 \text{ kg/h de CO}}$$

$$\mathbf{\text{Total Emitido pela Usina}} = 21,7 \times 4 \text{ caldeiras} = \mathbf{86,8 \text{ kg/h}}$$

$$\mathbf{\text{Total Emitido (álcool)}} = 86,8 \times 40\% = \mathbf{34,7 \text{ kg/h de CO.}}$$

Para as estimativas das emissões de CO₂, primeiramente realizou-se o cálculo da vazão de CO₂ que é emitido utilizando-se o valor da leitura realizada pelo aparelho (9,4%).

$$V_{\text{ol CO}_2} = (9,4 \% \times 134.000 \text{ m}^3/\text{h}) / 100 = \mathbf{12.596 \text{ m}^3/\text{h de CO}_2}$$

Posteriormente, sabendo-se que a densidade do gás carbônico é de aproximadamente 1,96 kg/m³, calculou-se a massa de gás emitida.

$$\begin{array}{l} 1,0 \text{ m}^3 \text{ ----- } 1,96 \text{ kg de CO}_2 \\ 12.596 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ----- } Y \end{array}$$

$$Y = \mathbf{24.688 \text{ kg/h de CO}_2}$$

$$\mathbf{\text{Total Emitido pela Usina}} = 24.688 \times 4 = \mathbf{98.752 \text{ kg/h}}$$

$$\mathbf{\text{Total Emitido (álcool)}} = 98.752 \times 40\% = \mathbf{39.500 \text{ kg/h de CO}_2}.$$

Todos os dados de entrada e saída da Fase Industrial estão apresentados no quadro 17.

Quadro 17 – Entradas e Saídas da Fase Industrial.

	Quantidade	Unidade
Consumo de Cana-de-açúcar	163,0	ton/h
Consumo de Água Bruta	87,2	m ³ /h
Consumo de Água Tratada	75,0	m ³ /h
Sobra de água condensada	46,0	m ³ /h
Água em forma de Vapor	60,0	m ³ /h
Geração do Bagaço da Cana	4,5	ton/h
Geração da Levedura	308,0	Kg/h
Emissão de CO ₂	50.100	Kg/h
Emissão de CO	34,7	Kg/h
Emissão de NO ₂	15,5	Kg/h
Emissão de Material Particulado	22,4	Kg/h
Álcool Hidratado	14,6	m ³ /h

No quadro apresentado, observa-se que a quantidade de cana-de-açúcar e de geração de bagaço, já foram calculados para a porcentagem de cana que é destinada apenas a produção de álcool (40 %), ou seja, das 413 toneladas de cana moídas por hora, 163 toneladas são destinadas à produção do álcool gerando 4,5 toneladas por hora de bagaço, como foi explicado no item “Balanço Hídrico” anteriormente.

Sub-produtos utilizados como fertilizantes na lavoura

Como citado anteriormente durante algumas etapas de produção, outros resíduos são gerados. No entanto, estes não foram considerados como saídas do sistema, visto que eles são reutilizados na forma de fertilizantes nas próprias lavouras de cana da Usina, como mostra o fluxograma a seguir (Figura 21).

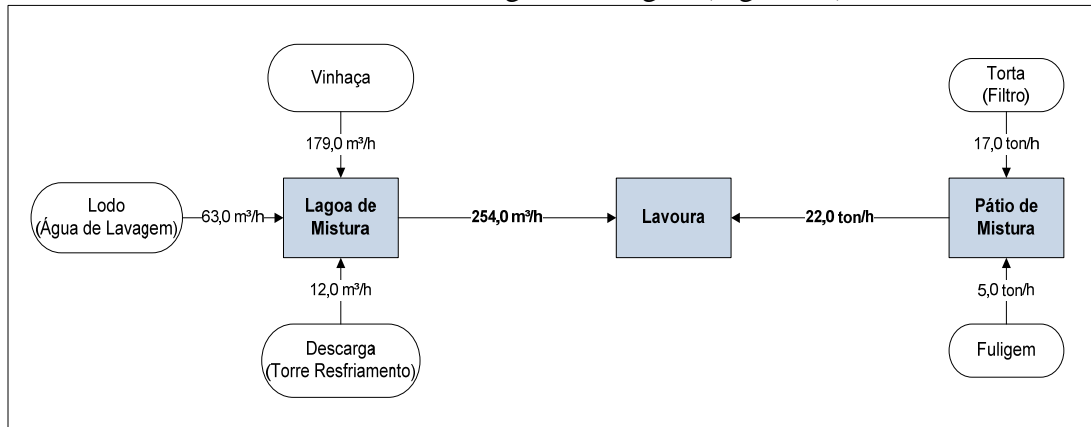


Figura 21 – Fluxograma dos sub-produtos utilizados como fertilizantes.

O uso destes sub-produtos na lavoura ocorre de duas formas, ou por irrigação (neste caso são aplicados os líquidos oriundos da lagoa de mistura) ou por deposição no solo dos resíduos do pátio de secagem e mistura (Figuras 22 e 23).



Figura 22 – Aplicação da vinhaça na lavouras de cana.



Figura 23 – Resíduos provenientes da Usina (Torta do filtro).

É importante ressaltar novamente, que a aplicação da vinhaça nas lavouras de cana deve ser realizada com muito cuidado e tomando todas as medidas preventivas necessárias, pois apesar de possuir grandes quantidades de substâncias fertilizantes em sua composição, ela também apresenta elevada carga orgânica, podendo contribuir para a poluição de rios e mananciais subterrâneos caso aconteça o contato da mesma com estes.

A seguir é apresentado um quadro com as principais características da vinhaça (Quadro 18).

Quadro 18 – Caracterização da vinhaça.

Caracterização média da vinhaça	
pH	4
Temperatura	90 °C
DBO ₅	16.950 mg/l
DQO	28.850 mg/l
Sólidos Totais	25.155 mg/l
Potássio	2,0 kgK/m ³

Fonte : Copersucar (2007).

5.1.4. Inventário para a Unidade Funcional

Considerando todas as entradas e saídas do sistema de produção do álcool hidratado, têm-se os seguintes valores:

Quadro 19 – Entradas e saídas de cada fase analisada.

Fase	Tipo	Quantidade	Unidade
Fase de preparação das Mudanças	Consumo de Pré-Mudas	10.000	Kg/ha
	Consumo de Óleo Diesel	325,6	litros/ha
	Consumo de Fertilizantes	500	Kg/ha
	Consumo de Herbicidas	250	litros/ha
	Geração de Resíduos sólidos	2,084	Kg/ha
	Produção de Mudanças	80.000	Kg/ha
	Emissão de CO	3,88	Kg/ha
	Emissão de CO ₂	878,10	Kg/ha
	Emissão de NO ₂	3,14	Kg/ha
Fase Agrícola	Consumo de Mudanças	10.000	Kg/ha
	Consumo de Óleo Diesel	257,6	litros/ha
	Consumo de Fertilizantes	500	Kg/ha
	Consumo de Herbicidas	250	litros/ha
	Geração de Resíduos sólidos	2,084	Kg/ha
	Produção de Cana	80.000	Kg/ha
	Emissão de CO	3,07	Kg/ha
	Emissão de CO ₂	694,7	Kg/ha
	Emissão de NO ₂	2,48	Kg/ha
Fase Industrial	Consumo de Cana	163,0	ton/h
	Consumo de Água Bruta	87,2	m ³ /h
	Consumo de Água Tratada	75,0	m ³ /h
	Sobra de água condensada	46,0	m ³ /h
	Água em forma de Vapor	60,0	m ³ /h
	Geração do Bagaço da Cana	4,5	ton/h
	Geração da Levedura	308,0	Kg/h
	Emissão de CO ₂	50.100	Kg/h
	Emissão de CO	34,7	Kg/h
	Emissão de NO ₂	15,5	Kg/h
	Emissão de Material Particulado	22,4	Kg/h

Como pode ser observado no quadro de entradas e saídas, para a Fase Industrial, todos os valores apresentados estão relacionados com uma hora de produção e para as fases de Preparação das Mudanças e Agrícola estão em virtude de um hectare.

Para se chegar aos valores da unidade funcional (Produção de 1000 litros de álcool), partiu-se da Fase Industrial, retrocedendo até a Fase de Preparação das Mudanças.

Considerando que a produção média de álcool durante a safra em questão foi de 14.600 litros/hora já considerada as perdas (se não ocorressem perdas a produção

horária da Usina seria de aproximadamente 16.350 litros/hora), chegamos à conclusão que o tempo necessário para se produzir 1.000 litros foi de:

$$\begin{array}{r} 14.600 \text{ litros} \text{ ----- } 60 \text{ minutos} \\ 1.000 \text{ litros} \text{ ----- } X \end{array}$$

$$\mathbf{X = 4,11 \text{ minutos} = 0,07 \text{ horas.}}$$

Portanto, basta multiplicar todos os resultados inventariados para a Fase Industrial por 0,07 e ter-se-á os valores para a unidade funcional.

Para a Fase Agrícola, o cálculo a ser feito também é simples, ou seja, sabendo que são moídas 163 toneladas de cana-de-açúcar por hora só para a produção do etanol e que para se produzir 1.000 litros são necessários 0,07 horas, basta:

$$\text{Consumo Cana}_{(1000\text{litros})} = 163,0 \times 0,07 = \mathbf{11,4 \text{ toneladas para produzir 1000 litros}}$$

Sabendo que um hectare de cana produz em média 80 toneladas de cana, para se produzir 11,4 toneladas, são necessários:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ hectare} \text{ ----- } 80 \text{ toneladas de cana} \\ Y \text{ ----- } 11,4 \text{ toneladas de cana} \end{array}$$

$$\mathbf{Y = 0,14 \text{ hectares de Cana}}$$

Portanto, basta multiplicar todos os resultados inventariados para a Fase Agrícola por 0,14 e ter-se-á os valores para a unidade funcional.

Já para o cálculo dos valores da unidade funcional na Fase de Preparação das Mudas, deve-se lembrar que um hectare de Pré-Mudas após serem colhidas e replantadas (Mudas) dão origem a 8 novos hectares de cana-de-açúcar. Com isso:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ hectare de Pré-Mudas} \text{ ----- } 8 \text{ hectares de Cana} \\ Z \text{ ----- } 0,14 \text{ hectares de Cana} \end{array}$$

$$\mathbf{Z = 0,0175 \text{ hectares de Pré Mudas}}$$

Portanto, basta multiplicar todos os resultados inventariados para a Fase de Preparação das Mudas por 0,0175 e ter-se-á os valores para a unidade funcional.

Feito todos os cálculos obtêm finalmente os valores para a produção de 1000 litros de álcool hidratado (Quadro 20).

Quadro 20 – Entradas e saídas para a Unidade Funcional (1.000 litros de álcool hidratado).

Fase	Tipo	Quantidade	Unidade
Fase de preparação das Mudas	Consumo de Pré-Mudas	175	Kg
	Consumo de Óleo Diesel	5,7	Litros
	Consumo de Fertilizantes	8,75	Kg
	Consumo de Herbicidas	4,37	Litros
	Geração de Resíduos sólidos	0,04	Kg
	Produção de Mudas	1.400	Kg
	Emissão de CO	0,07	Kg
	Emissão de CO ₂	15,4	Kg
	Emissão de NO ₂	0,05	Kg
Fase Agrícola	Consumo de Mudas	1.400	Kg
	Consumo de Óleo Diesel	36,1	Litros
	Consumo de Fertilizantes	70	Kg
	Consumo de Herbicidas	35	Litros
	Geração de Resíduos sólidos	0,30	Kg
	Produção de Cana	11.400	Kg
	Emissão de CO	0,43	Kg
	Emissão de CO ₂	97,3	Kg
	Emissão de NO ₂	0,35	Kg
Fase Industrial	Consumo de Cana	11.400	Kg
	Consumo de Água Bruta	6,1	m ³
	Consumo de Água Tratada	5,25	m ³
	Sobra de água condensada	3,22	m ³
	Geração de Vapor d'água	4,2	m ³
	Geração do Bagaço da Cana	315	Kg
	Geração da Levedura	21,6	Kg
	Emissão de CO ₂	3.507	Kg
	Emissão de CO	2,43	Kg
	Emissão de NO ₂	1,1	Kg
	Emissão de Material Particulado	1,6	Kg

Para facilitar a visualização das entradas e saídas do sistema de produção do álcool hidratado foi elaborado um fluxograma (Figura 24).

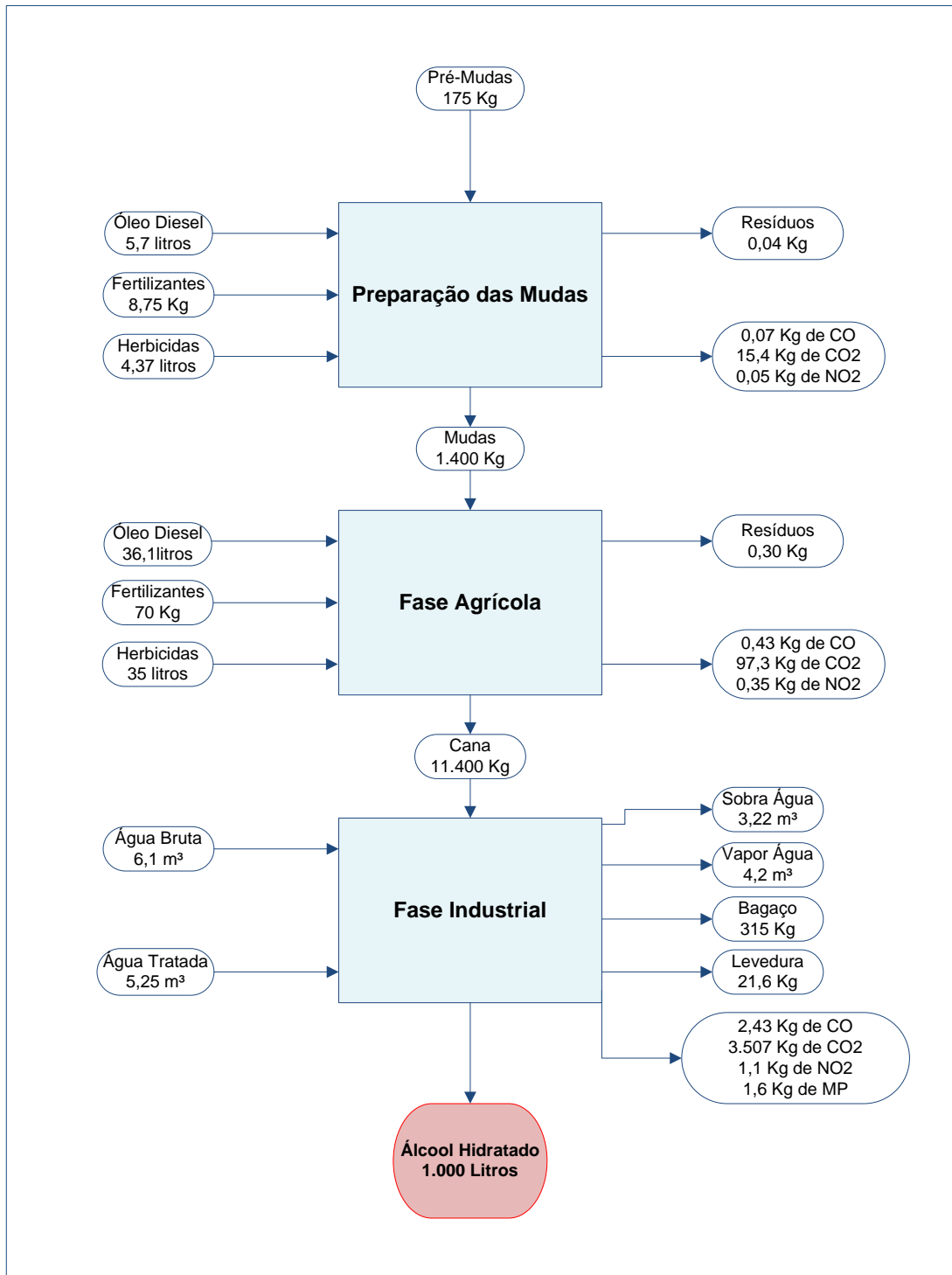


Figura 24 – Fluxograma da Unidade Funcional.

Somando os valores de cada fase, obtêm-se o inventário final do ciclo do etanol (Quadro 21).

Quadro 21 – Inventário Final para a produção de 1.000 litros de álcool hidratado.

Tipo	Valor	Unidade
Consumo de Óleo Diesel	41,8	Litros
Consumo de Fertilizantes	78,8	Kg
Consumo de Herbicidas	39,4	Litros
Consumo de Água Bruta	6,1	m ³
Consumo de Água Tratada	5,25	m ³
Geração de Resíduos Sólidos (Resíduos + Bagaço)	315,4	Kg
Geração de Levedura	21,6	Kg
Sobra de Água Condensada	3,22	m ³
Geração de Vapor d'água	4,2	m ³
Emissão de CO	2,93	Kg
Emissão de CO ₂	3.620	Kg
Emissão de NO ₂	1,5	Kg
Emissão de Material Particulado	1,6	Kg

5.2. Análise de Impactos

Para a análise dos impactos decorrentes da produção do etanol é apresentado a seguir, uma descrição dos principais impactos constatados, sendo que estes posteriormente foram classificados por uma Matriz de Impactos.

5.2.1. Esgotamento dos Recursos Naturais

No processo de produção do álcool hidratado observou-se que ocorre tanto o consumo de matérias-primas renováveis quanto não renováveis. O consumo de matérias não renováveis é caracterizado principalmente pelo consumo de óleo diesel, enquanto que o de matérias-primas renováveis pelo consumo da própria cana-de-açúcar e principalmente de água.

Dentre os problemas ambientais que podem ocorrer devido ao consumo destas matérias-primas podemos citar principalmente o esgotamento das matérias não renováveis e a conseqüente perda da qualidade das renováveis, como a água.

No sistema de produção do álcool hidratado observamos que o consumo de água é um fator importante, pois elevados volumes são aduzidos e inseridos no processo de produção, somando 11,35 m³. O importante é observar com que qualidade essa água é devolvida ao meio ambiente, evitando possíveis prejuízos aos cursos de água receptores.

O consumo total de óleo diesel foi de 41,8 litros, sendo este empregado apenas nas fases agrícolas. Apesar de se empregado apenas nestas fases, o consumo pode ser considerado alto, fato que se dá devido às atividades pesadas realizadas pelos maquinários.

5.2.2. Produtos Químicos

A demanda por produtos químicos no ciclo de vida do etanol ocorre principalmente nas etapas de plantio da cana-de-açúcar e durante os tratamentos culturais

empregados durante o decorrer do crescimento da mesma, sendo aplicados quantidades expressivas de adubos (78,8 Kg) e herbicidas (39,4 litros) respectivamente.

A aplicação destes produtos requer grandes cuidados, pois em caso de aplicações elevadas ou mal planejadas, podem ocorrer implicações negativas para o próprio solo, como também para os rios, caso estes produtos venham a atingi-lo, prejudicando muitas vezes toda a biota aquática.

5.2.3. Efluentes Líquidos

O processo industrial de produção do etanol, devido ao elevado consumo de água consumido gera também elevados volumes de efluentes líquidos. No entanto, estes efluentes gerados não foram considerados como saídas do sistema neste trabalho por serem empregados dentro do próprio ciclo de produção do etanol através da aplicação nas lavouras como fertilizantes.

Vale ressaltar que apesar de não ser considerado neste trabalho, a vinhaça gerada durante o processo de destilação do álcool (179,0 m³/h), apresenta elevadas cargas de DBO e DQO. Portanto, a aplicação desta como fertilizante deve ser bem estruturada e acompanhada, pois caso aconteça aplicações exageradas, esta pode vir a atingir corpos d'água tanto superficiais ou subterrâneos e prejudicar toda a vida aquática de um rio ou a qualidade de um manacial submerso.

5.2.4. Resíduos Sólidos

O principal resíduo sólido observado no ciclo de produção do etanol foi o bagaço da cana. Como visto a maior parte deste resíduo é consumido pelas caldeiras para geração de energia, no entanto, 315,0 Kg são descartados. Este resíduo descartado não apresenta muitos problemas para o meio ambiente quando armazenado e disposto em condições favoráveis. No contrario, pode ser um ambiente favorável para a proliferação de vetores como ratos e insetos peçonhentos.

Na maioria das vezes este bagaço armazenado é vendido para as indústrias de produção de suco para alimentação das caldeiras existentes nestas empresas, ficando armazenados por pequenos períodos.

Outro resíduo oriundo do processo de produção do etanol são as embalagens de fertilizantes (adubos) e herbicidas utilizados nas lavouras de cana, sendo gerados 0,4 Kg. Estas embalagens por apresentarem muitas vezes restos de produtos químicos devem ter uma destinação adequada.

Na Usina São Luiz observou que as embalagens são armazenadas e enviadas para uma empresa especializada em reciclagem de embalagens contendo produtos tóxicos.

5.2.5. Emissões Atmosféricas

As emissões atmosféricas geradas no ciclo de vida do álcool hidratado é um dos aspectos ambientais mais importantes de todo o sistema, pois esta presente nas três fases analisadas.

De acordo com o inventário, durante o processo de combustão de óleo diesel dos maquinários utilizados na agricultura e o da queima do bagaço da cana nas

caldeiras, estima-se que são gerados 2,93 Kg de CO, 3.620 Kg de CO₂ e 1,5 Kg de NO₂. Além destes gases foi inventariado também as emissões de material particulado oriundos das caldeiras, chegando ao valor de 1,6 Kg.

Dentre os principais impactos ambientais relacionados com as emissões atmosféricas estão o efeito estufa, o aquecimento global e as chuvas ácidas.

5.2.6. Matriz de Impactos

Para a avaliação dos impactos foi utilizado uma matriz de impactos, onde foram levantados os impactos ambientais gerados, qual o tipo de efeito, sua incidência, abrangência, se são de curto ou longo prazo, qual sua severidade e qual a sua magnitude (Quadro 22).

Quadro 22 – Check list dos impactos potenciais.

Categoria de Impacto	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental					
		E	I	A	T	Sr	M
Uso dos Recursos Naturais	Esgotamento dos Recursos Naturais (Água, Petróleo)	N	I	G	LP	Ir	Fr
Saúde Humana	Maus Odores	N	D	L	CP	R	Fr
	Geração de Energia	P	D	R	CP		Fo
	Proliferação de vetores	N	D	L	CP	R	Fr
Conseqüências Ecológicas	Alteração no Uso e Ocupação do Solo (alteração da cobertura vegetal)	N	D	R	LP	Ir	Fo
	Alteração da Qualidade do Solo e dos Recursos Hídricos	N	D	R	LP	R	M
	Perda da diversidade biológica pela implantação da monocultura	N	I	R	LP	R	Fo
	Aquecimento Global	N	I	G	LP	Ir	M
	Acidificação	N	I	R	CP	R	Fo

E = Efeito: Negativo (N); Positivo (P)

I = Incidência: Direto (D); Indireto (I)

A = Abrangência: Local (L); Regional (R); Global (G)

T = Tempo: Curto Prazo (CP); Longo Prazo (LP)

Sr = Severidade: Reversível (R); Irreversível (Ir)

M = Magnitude: Fraco (Fr); Médio (M); Forte (Fo)

6. CONCLUSÕES

A análise do ciclo de vida do etanol é uma ferramenta importante para quantificar os reais impactos potenciais oriundos do sistema de produção do mesmo, pois através da análise do inventário de cada fase constituinte do processo, pôde-se construir um fluxograma e discriminar cada entrada e saída do sistema.

Dentre os aspectos ambientais avaliados neste trabalho, destacam-se o consumo de água utilizada durante a fase industrial e as emissões atmosféricas emitidas com a queima do bagaço da cana para obtenção de vapor e conseqüentemente energia elétrica.

Observou que para a produção de 1000 litros de etanol, são gastos 11,35 m³ de água, sendo considerado um volume alto. O sistema de reciclagem da água existente na usina é um fator importante na contribuição para a diminuição deste volume, pois através da implantação de sistemas simples de tratamento da água (Decantação) a mesma pode ser reinserida no processo e deixar de ser considerada como um efluente líquido. No entanto, a otimização destes processos deve ser contínua, pois com a possibilidade de falta de água, novos meios devem ser aplicados para a diminuição do consumo da mesma.

As emissões atmosféricas quantificadas mostraram que o processo da queima do bagaço nas caldeiras para obtenção de vapor e energia elétrica é o principal responsável pelas emissões, contribuindo principalmente com CO₂, CO, NO₂ e Material Particulado. É importante que as chaminés sejam equipadas com equipamentos que diminuam as emissões, como lavadores de gases e filtros, favorecendo ainda mais a sustentabilidade de energia da usina.

O fato de poder gerar energia elétrica através de seu próprio sub-produto é um fator positivo para as usinas de produção do etanol, pois com os problemas energéticos enfrentados nos últimos anos com a possibilidade de falta de energia, a cogeração desempenhada pelas usinas pode ser uma alternativa interessante, pois além de deixar de gerar um resíduo desempenhará papel fundamental na infraestrutura do país.

Outros aspectos ambientais como o uso de fertilizantes nas lavouras, o consumo de óleo diesel pelos maquinários, a queima da cana para colheita manual e o excesso de bagaço gerado, também são importantes na análise do ciclo de vida do etanol, pois apesar de parecerem insignificantes, estes aspectos quando abordados em uma escala global de produção se tornam indispensáveis para a quantificação do verdadeiro impacto causado ao meio ambiente.

Portanto, avaliar o etanol apenas do ponto de vista do seu consumo (combustão) e afirmar que o mesmo é menos poluente que os combustíveis derivados do petróleo, em especial a gasolina, pode ser irreal, ou seja, para que se comprove esta afirmação deve-se realizar a análise do ciclo de vida dos dois produtos e compará-las, podendo assim concluir realmente qual o menos impactante.

No entanto, podemos averiguar que o processo de produção do etanol em sua grande maioria pode ser considerado como auto sustentável, isto é, com exceção das emissões atmosféricas e dos resíduos sólidos (excesso bagaço, embalagens) gerados, todos os outros sub-produtos são utilizados dentro do próprio sistema com distintas

finalidades. Como exemplo o bagaço que é utilizado para gerar energia e a torta do filtro que é utilizada como fertilizante nas lavouras, substituindo o emprego de adubos convencionais.

Contudo, acredita-se sim que o etanol possa vir a ajudar a reduzir as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa e conseqüentemente pelo aquecimento global. Porém a ampliação em larga escala da produção nacional deve ser planejada, pois a implantação de usinas sem nenhum controle e monitoramento pode acabar sendo prejudicial não só ao meio ambiente, como também aos trabalhadores dependentes desta atividade que muitas vezes trabalham em condições precárias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT ISO 14040 - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e Estrutura, 2001.
- ABNT ISO 14041 - Avaliação do ciclo de vida: Definição de Objetivo e Escopo e Análise de Inventário, 2004.
- ABNT ISO 14042 - Avaliação do ciclo de vida: Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida, 2004.
- ABNT ISO 14043 - Avaliação do ciclo de vida: Interpretação do Ciclo de Vida, 2005.
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. *Guidelines for Life-cycle Assessment: A "Code of Practice"*. Brussels: SETAC. 1993.
- CHEHEBE, José Ribamar B. Análise do Ciclo de Vida de Produtos. Rio de Janeiro, RJ. Qualitymark Editora, 1998, 104p.
- IPCC – *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised Reference Manual, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, vol. III, 1996.
- OMETTO, Aldo Roberto. Mini curso: avaliação do ciclo de vida e a gestão pós consumo de produtos eletroeletrônicos. São Paulo, 2006.
- SOARES, Sebastião Roberto. Gestão e planejamento ambiental. Florianópolis, 1 ° sem. 2007. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina.
- PRADO, Marcelo Real. Tese: Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil. Curitiba, 2007.
- PRADO, Thiago Guilherme Ferreira. Dissertação: Externalidades do ciclo produtivo da cana-de-açúcar com ênfase na produção de energia elétrica. São Paulo, 2007.
- PIRES, Armando Caldeira. Curso: Gerenciamento de tecnologias ambientais para a produção limpa. Brasília, 2006.
- COPERSUCAR – Cooperativa de Produtores de cana-de-açúcar, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, 2007.
- ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Seminário Internacional sobre Água Subterrânea e Etanol: Da produção ao consumo. Disponível em: <http://www.aquacon.com.br/etanol.html>. Outubro de 2007.

UNILINS – Centro Universitário de Lins. Curso de Pós Graduação em Gestão Sucro-Alcooleira. Operações Unitárias do Processo de Obtenção do Açúcar e do Álcool, 2007.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 01 – Relatório das emissões atmosféricas das chaminés.

USINA SÃO LUIZ S/A

Ourinhos - SP

**Relatório de Amostragem em Chaminé para Determinação de
Material Particulado e Óxidos de Nitrogênio dos Efluentes
Gasosos Provenientes das Caldeiras de Geração de Vapor
03, 04, 05 e 06.**

Agosto, 2.006

Relatório de Amostragem em Chaminé

1. Serviços de Amostragem

Amostragem em chaminé para determinação das concentrações e taxas de emissões de Material Particulado (MP) e Óxidos de Nitrogênio (NOx) provenientes das chaminés dos lavadores de gases das caldeiras 03, 04, 05 e 06 de geração de vapor.

As amostragens foram realizadas nos seguintes períodos e nas seguintes condições de operação:

- CALDEIRA 03 – DEDINI V 2/4 GB 1520.

Capacidade de geração: 60 t/h de vapor.

Equipamento de controle de poluentes	Fabricante	Copersucar 99.612.02.00
	Modelo	Retentor de fuligem
	Tipo	RFU-75 caldeiras 03, 04 e 05

Poluentes	Data	Coletas	Horário	Dados Operacionais
Material Particulado	31/08/06	Col 01	16:20 as 17:23	- Combustível: Bagaço de cana
		Col 02	17:35 as 18:38	
	01/09/06	Col 03	09:35 as 10:40	
Óxidos de Nitrogênio	31/08/06	Col 01	16:30	- Consumo médio durante as coletas: 25 t/h
		Col 02	16:50	
		Col 03	17:10	
		Col 04	17:40	
		Col 05	18:00	
		Col 06	18:20	
	01/09/06	Col 07	09:45	- Geração de vapor média durante as coletas: 55 t/h
		Col 08	10:05	
		Col 09	10:25	

2. Metodologia

As amostragens em chaminé foram realizadas utilizando-se as normas da CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, conforme a tabela:

Determinação	Norma – CETESB
Localização dos pontos de amostragem e Determinação dos números de pontos de medição na secção transversal.	L9.221 - Determinação de pontos de amostragem em dutos ou chaminé, de fontes estacionárias.
Velocidade e Vazão dos gases.	L9.222 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de velocidade e vazão dos gases.
Análise de Orsat (CO ₂ , O ₂ , CO e N ₂)	L9.223 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso.
Umidade do gás (% volume)	L9.224 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da umidade dos efluentes.
Material Particulado (MP)	L9.225 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de material particulado.
Óxidos de Nitrogênio (NOx)	L9.229 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de óxidos de nitrogênio.

A amostragem em chaminé foi realizada utilizando-se um Amostrador Isocinético e conjunto de Pitot "S" devidamente calibrados na CETESB como segue:

Equipamento	Marca	Relatório de Calibração
CIPA 04	Energética	CETESB ETQR 549/2006 de 21/08/2006
Pitot 285 S	Energética	CETESB ETQR 393/2006 de 27/06/2006
Pitot 277 S	Energética	CETESB ETQR 320/2006 de 29/05/2006

As análises de óxidos de nitrogênio foram realizadas pelo laboratório da ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland de acordo com o Relatório de Ensaio nº 40757 de 02/10/2006. (anexo)

3. Resultados de Amostragem

As tabelas a seguir apresentam os resumos das amostragens em chaminé realizadas:

Caldeira 03- DEDINI - 60 t/h de Vapor Material Particulado (MP)

Parâmetros		Col 01	Col 02	Col 03
Data		31/08/06	31/08/06	01/09/06
Efluente Gasoso				
Velocidade	m/s	12,65889	12,92900	13,26578
Pressão Atmosférica	mmHg	763	763	763
Temperatura	°C	90	84	92
Umidade	%H ₂ O	21,11	22,82	24,06
Vazão, base úmida	m ³ /h	223702	228475	234426
Vazão, base seca (Normal)	Nm ³ /h b.s	133223	135252	133659
Isocinética				
	%	92,18	94,10	95,24
Emissão de Material Particulado				
Concentração, base seca	mg/Nm ³	88,41	77,88	148,13
Taxa de Emissão	kg/h	11,77796	10,53398	19,79870
Consumo de Bagaço de Cana				
	t/h	25,00	25,00	25,00
Fator de Emissão de MP	kg/t Bagaço	0,47	0,42	0,79

Caldeira 03- DEDINI - 60 t/h de Vapor
Óxidos de Nitrogênio (NOx)

Parâmetros		Col 01	Col 02	Col 03	Col 04	Col 05
Data		31/08/06	31/08/06	31/08/06	31/08/06	31/08/06
Efluente Gasoso						
Velocidade	m/s	12,65889	12,65889	12,65889	12,92900	12,92900
Pressão Atmosférica	mmHg	763	763	763	763	763
Temperatura	°C	90	90	90	84	84
Umidade	%H ₂ O	21,11	21,11	21,11	22,82	22,82
Vazão, base úmida	m ³ /h	223702	223702	223702	228475	228475
Vazão, base seca (Normal)	Nm ³ /h b.s	133223	133223	133223	135252	135252
Emissão de NOx como NO₂						
Concentração, base seca	mg/Nm ³ b.s	78,78	93,06	83,95	88,84	49,61
Taxa de Emissão	kg/h	10,50	12,40	11,18	12,02	6,71
Consumo de Bagaço de Cana						
	t/h	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Fator de Emissão de NOx	kg/t Bagaço	0,42	0,50	0,45	0,48	0,27

Parâmetros		Col 06	Col 07	Col 08	Col 09
Data		31/08/06	01/09/06	01/09/06	01/09/06
Efluente Gasoso					
Velocidade	m/s	12,92900	13,26578	13,26578	13,26578
Pressão Atmosférica	mmHg	763	763	763	763
Temperatura	°C	84	92	92	92
Umidade	%H ₂ O	22,82	24,06	24,06	24,06
Vazão, base úmida	M ³ /h	228475	234426	234426	234426
Vazão, base seca (Normal)	Nm ³ /h b.s	135252	133659	133659	133659
Emissão de NOx como NO₂					
Concentração, base seca	mg/Nm ³ b.s	46,15	53,91	49,04	105,55
Taxa de Emissão	kg/h	6,24	7,21	6,56	14,11
Consumo de Bagaço de Cana					
	t/h	25,0	25,0	25,0	25,0
Fator de Emissão de NOx	kg/t Bagaço	0,25	0,29	0,26	0,56