

**UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS E SEQUÊNCIAIS**

**Carlos Vitor Silva de Oliveira**

**IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA USINA DE  
ÁLCOOL E AÇÚCAR**

**Juiz de Fora**

**2010**

*M. O. S.  
2010  
11/11/2009*

**Carlos Vitor Silva de Oliveira**

**IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA USINA DE  
ÁLCOOL E AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Estudos Tecnológicos da  
Universidade Presidente Antônio Carlos,  
como requisito parcial à conclusão do curso de  
Tecnologia em Meio Ambiente.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc Flávia Medina Cury

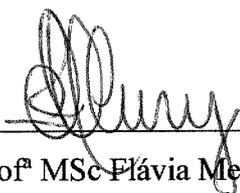
**Juiz de Fora**

**2010**

**Carlos Vitor Silva de Oliveira**

**IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA USINA DE  
ÁLCOOL E AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Estudos Tecnológicos da  
Universidade Presidente Antônio Carlos,  
como requisito parcial à conclusão do curso de  
Tecnologia em Meio Ambiente e aprovado  
pela orientadora:



---

Profª MSc Flávia Medina Cury

Orientadora - Universidade Presidente Antônio Carlos

## AGRADECIMENTOS

A Deus, aos meus pais e irmãos pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis desta caminhada, pelas orações e por toda a ajuda.

Em especial à minha esposa, por fazer parte da minha vida e de mais esta conquista.

Aos amigos de faculdade, do trabalho e do dia a dia.

A todos os professores, que com paciência e dedicação nos passaram todo o conhecimento necessário para esta nova etapa que se inicia.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL.....	5
2.1. PRODUÇÃO DE AÇÚCAR.....	5
2.2. PRODUÇÃO DE ÁLCOOL.....	11
3. IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO PROCESSO INDUSTRIAL DAS USINAS DE AÇUCAR E ÁLCOOL E MEDIDAS MITIGADORAS .....	16
4. CONCLUSÃO.....	23
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a cana-de-açúcar é conhecida pelas mais antigas civilizações do mundo tendo sua origem mais citadas pelos estudiosos como sendo das planícies ao longo do rio Ganges na Índia. Outros afirmam que seja da Melanésia. Mais tarde chegou até a China pouco antes do início da era Cristã. Por suas qualidades logo reconhecidas, passou a ser alvo dos conquistadores. Sabe-se que, além dos chineses, responsáveis pela difusão da planta na ilha de Java e Filipinas, o açúcar era também conhecido pelos Árabes.

Constantinopla, capital do império Árabe no Ocidente, e que concentrava todo o comércio do Oriente, foi a porta de entrada do produto para a Europa. Coube a Portugal e Espanha, através dos navegantes a disseminação da cana e das técnicas de fabricação de açúcar no Novo Mundo, as Américas, aonde chegou na segunda viagem de Cristóvão Colombo, em 1493.

A cana de açúcar no Brasil - Com o cultivo das primeiras mudas de cana da Ilha Madeira, Martim Afonso de Sousa, em 1533, fundou na capitania de São Vicente, próximo a cidade de Santos, no estado de São Paulo, o primeiro engenho para produzir açúcar, com o nome de São Jorge Erasmos; O açúcar passou pouco depois a ser produzido também nos estados do Rio de Janeiro, Bahia, Espírito Santo, Sergipe e Alagoas. De todas essas regiões, a que mais se desenvolveu foi a de Pernambuco, chegando a ter em fins do século XVI cerca de 66 engenhos, foi nesta época que a formação econômica foi consolidada, com o cultivo da cana-de-açúcar, que até então tinha valor expressivo no mercado europeu, o açúcar era um produto de tal maneira cobiçado que foi apelidado de "Ouro branco", tal era a riqueza que gerava, e como o clima tropical do Brasil é do tipo ideal para esse cultivo e diante do aumento da produção, tornou-se necessário a construção de estradas e cidades portuárias para facilitar o escoamento do produto para o consumo externo europeu, a produção do açúcar provocou uma reorganização do território brasileiro; O alto preço do açúcar no mercado europeu propiciava a reprodução do capital, fator que favoreceu a modernização do processo

produtivo. Esta cultura foi a base de sustentação e colonização do nosso país durante os séculos XVI e XVII, entrando em decadência no século XVIII em virtude da expansão holandesa com o produto e também do surgimento do açúcar de beterraba. Assim, no século XIX, o açúcar deixa de ser o principal produto nacional, papel que passa, então, a ser exercido pelo café.

A produção passa então a ser muito vagarosa devido até mesmo pelo descumprimento dos fornecedores na entrega da cana aos engenhos, e pela concorrência com os holandeses, e o açúcar de beterraba que era produzido na própria Europa. Por isso o mercado produtor brasileiro passou por grandes períodos de crise. Diante disso, o Governo Imperial então se meche e substitui os engenhos centrais, para concessões de exploração, através de financiamentos concedidos pelo próprio governo, por isso estes engenhos deverão produzir açúcar de melhor qualidade, surge então a partir daí um período usineiro passando a contar com infra-estrutura, aumento da área de cultivo, e, por consequência aumento da produção, que começa a tomar maiores proporções em 1930, logo após a grande depressão de 1929 (crack da bolsa de valores de Nova York), afetando o Brasil, que dependia das exportações de café para os Estados Unidos; Com a crise grande parte do monstruoso estoque de café produzido no Brasil, ficou sem mercado consumidor, nosso país não consegue conter o desastre econômico que abalou a classe cafeicultora, isso leva muitos produtores a abandonar a cultura do café se vendo as voltas com a falência; Assim expandem-se as áreas dos canaviais em terras onde antes eram cultivadas com o café, levando o governo a intervir, limitando a produção, passando também a proibir a instalação de novas fabricas. Com a chegada da segunda guerra mundial, (1939 – 1945) esse crescimento foi detido, houve uma desorganização do açúcar tornando difícil a circulação do produto pelo território nacional através da navegação costeira, mas isso foi só por alguns anos, pois a partir daí o governo fica mais flexível, mais liberal para a instalação de novas usinas e destilarias, passando a apoiar o desenvolvimento de programas que incentivariam o desenvolvimento do setor, assim, em 14 de Novembro de 1975 sobre o decreto nº. 76.593 nasce o Próalcool (Programa Nacional do Álcool) e pouco depois o Planalsucar (Programa Nacional de melhoramento da Cana-de-açúcar), a fim de estimular a expansão canavieira, ensinando a competir com o mercado internacional e a

desenvolver uma alternativa biológica para fazer baixar a importação do petróleo, esta nova atividade produtiva foi implantada de forma expressiva nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Maranhão.

O presente estudo tem por finalidade descrever todo o processo industrial que envolve a fabricação de açúcar e álcool, e identificar dentro do mesmo o seu potencial de impacto ao meio ambiente e propor algumas medidas para que se possa minimizar estes impactos ou até mesmo anulá-los, de forma a buscar um desenvolvimento sustentável deste setor que cresce mais a cada dia.

## 2. PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

### 2.1. Produção de Açúcar

Segundo a Embrapa e a Copersucar, o processo industrial de produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar segue as seguintes etapas:

- **Lavagem da cana.**

Consiste em lavar a cana-de-açúcar a fim de se retirar todas as impurezas como: terra, areia e etc..

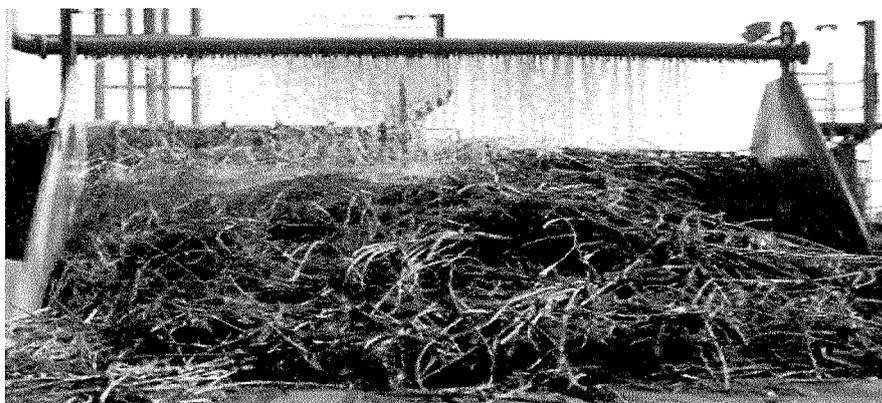


Figura 1: Lavagem da cana de açúcar para retirada de impurezas.

- **Preparo para moagem ou difusão**

A cana-de-açúcar é enviada para picadores e desfibradores que preparam os caules para a moagem aumentando o rendimento do caldo.

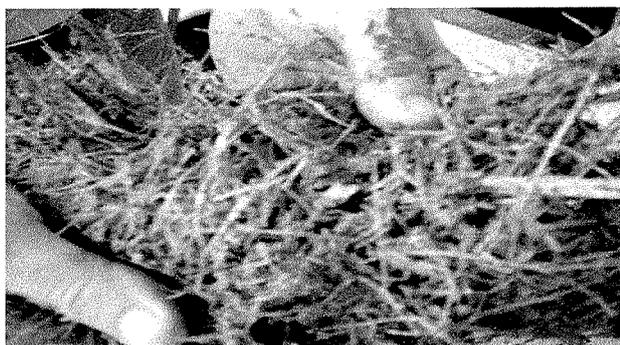
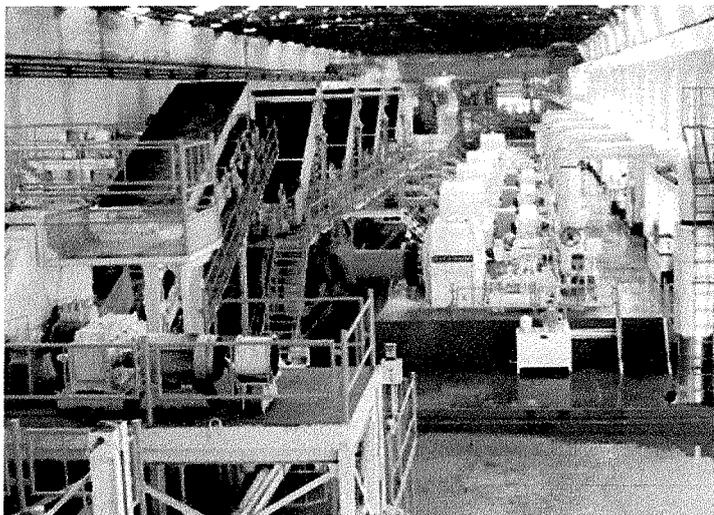


Figura 2: Cana desfibrada pronta para moagem.

- **Extração do caldo: moagem ou difusão.**

A moagem é um processo estritamente volumétrico e consiste em deslocar o caldo contido na cana-de-açúcar. Este processo é conseguido fazendo a cana passar entre dois rolos, submetidos a determinada pressão e rotação obtendo como produto final o caldo da cana.



**Figura 3: Vista geral de moendas de cana-de-açúcar**

- **Purificação do caldo:**

O caldo de cana obtido no processo de extração apresenta uma quantidade e qualidade variável de impurezas, que podem ser solúveis ou insolúveis.

Primeiro o caldo passa por peneiras que tem por objetivo eliminar os materiais mais grosseiros em suspensão (bagacilho). Posteriormente passa um hidrociclone que ao ser aplicada uma força centrífuga separa a areia e argila do caldo com base na diferença de densidade sólido/líquido.

Ainda assim, o caldo contém impurezas menores que podem ser solúveis, coloidais ou insolúveis, necessitando de mais um tratamento, sendo este químico visando principalmente a coagulação, floculação e a precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação.

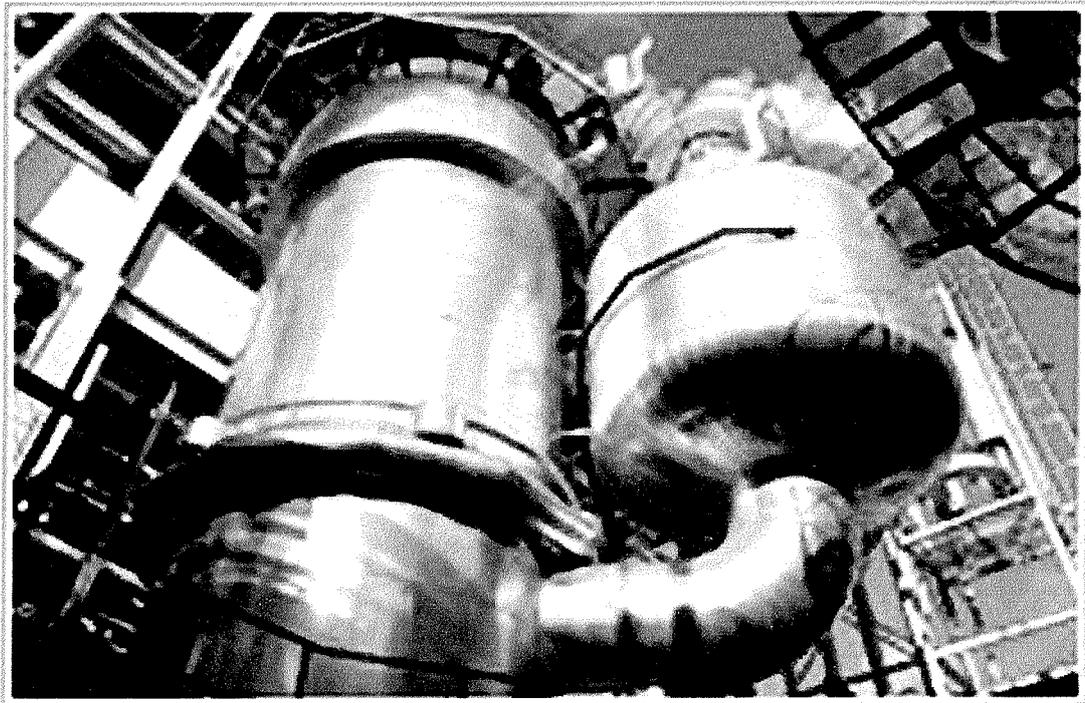


Figura 4: Hidrociclone usado na separação de sólido/líquido

- **Evaporação do caldo.**

O caldo clarificado obtido no processo de purificação é submetido a um processo de concentração através da eliminação da água presente.

A primeira etapa da concentração é realizada no equipamento chamado evaporador, que opera de forma contínua. O evaporador é formado por caixas, normalmente em número de quatro ou cinco, ligadas em série, de maneira que o caldo sofra uma concentração de forma progressiva da primeira a última. Para isto é preciso injetar vapor somente na primeira caixa, pois a própria água evaporada irá aquecer o caldo nas caixas seguintes.

Este procedimento, obtido devido à diferença de pressão dos corpos, é mantido por um sistema gerador de vácuo ligado a última caixa. O caldo apresenta inicialmente uma concentração de 14 - 16<sup>o</sup> Brix chegando ao final com 60<sup>o</sup> Brix, quando recebe a denominação de xarope.

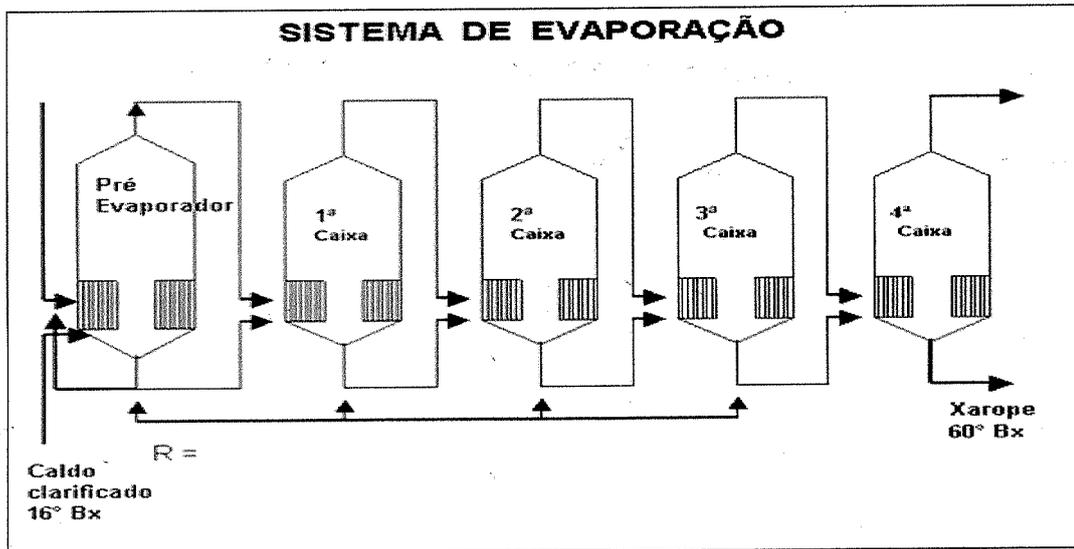


Figura 5: Desenho esquemático do Evaporador.

- **Cozimento**

São utilizados equipamentos denominados cozedores, tachos e etc., semelhantes as caixas dos evaporadores, que trabalham individualmente sobre vácuo e de forma descontínua. A evaporação da água da origem a uma mistura de cristais envolvidos em mel (solução açucarada) que recebe o nome de massa cozida.

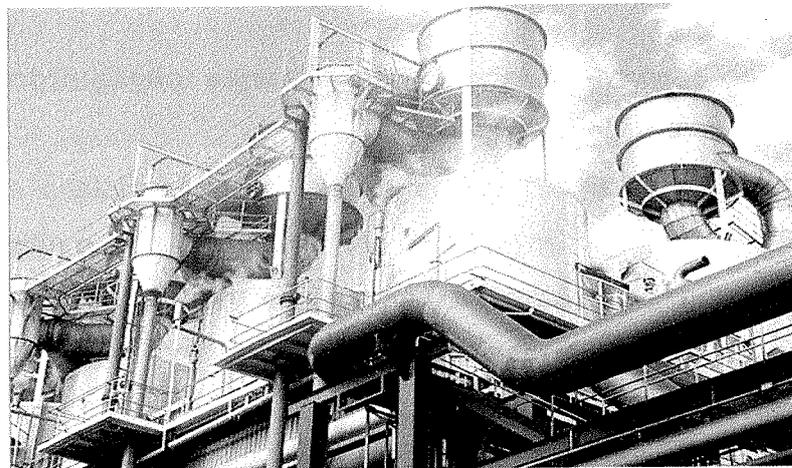
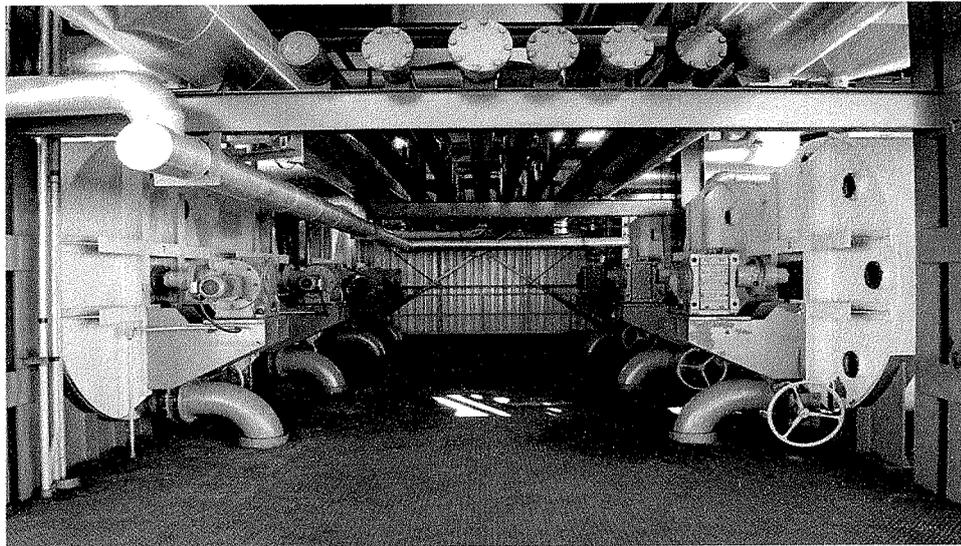


Figura 6: Foto de Cozedores a vácuo

- **Cristalização da sacarose**

A massa cozida é descarregada dos cozedores nos cristalizadores, que são tanques em forma de U, dotado de agitadores – onde irá ocorrer o resfriamento lento, geralmente com o auxílio de água ou ar. Esta operação é responsável por recuperar parte da sacarose que ainda se achava dissolvida no mel, pois pelo resfriamento haverá deposição de sacarose em forma de cristais, sendo inclusive possível aumentar o tamanho dos cristais já existentes.



**Figura 7: Foto dos Cristalizadores.**

- **Centrifugação: separação entre cristais e massa cozida.**

Dos cristalizadores a massa cozida resfriada segue para o setor de centrifugação e é descarregada nas centrífugas.

As centrífugas são constituídas por um cesto perfurado, fixado a um eixo e acionado por um motor que a gira a alta velocidade.

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 dos cestos.

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.

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

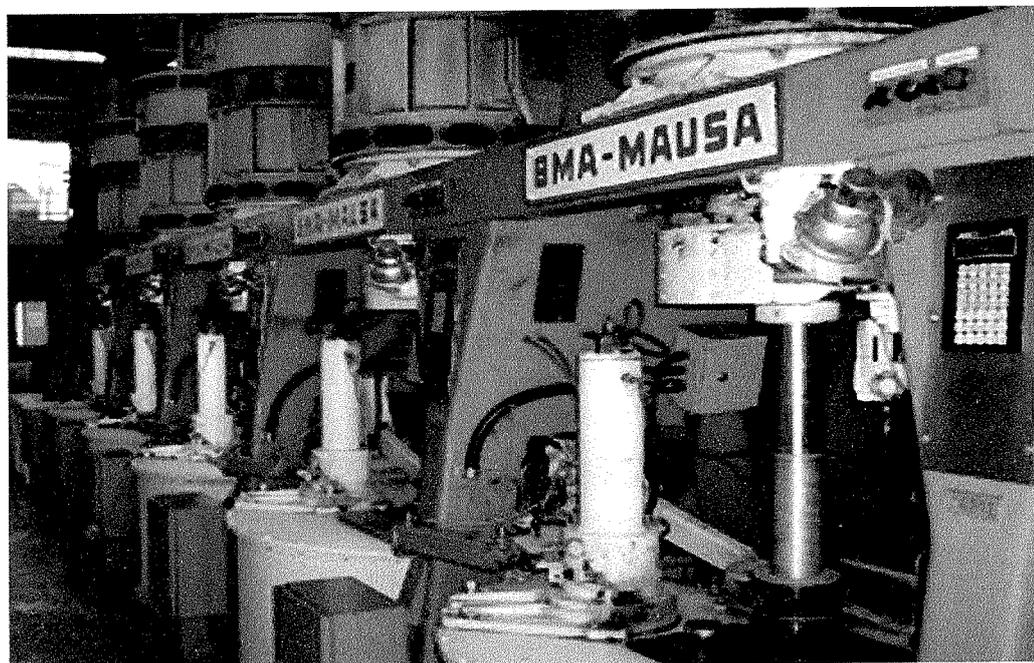


Figura 8: Foto das Centrífugas

- **Secagem e estocagem do açúcar**

A secagem do açúcar é realizada em um secador que é um tambor metálico através do qual passa, em contra corrente de ar succionado por um exaustor.

Ao deixar o secador, com uma temperatura entre 35° e 45° C e umidade na faixa de 0,03% a 0,04%, o açúcar está pronto para ser enviado ao ensaque. O ar que passar pelo secador arrasta consigo uma pequena quantidade de pó de açúcar, sendo necessária a lavagem deste ar para recuperação do açúcar arrastado, retornando-o ao posteriormente ao processo.

Do secador, o açúcar é 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 de costura industrial realizam o fechamento do saco, que está pronto para armazenagem. O açúcar é armazenado em sacos de 50K e em locais previamente determinados, facilitando o controle da qualidade.

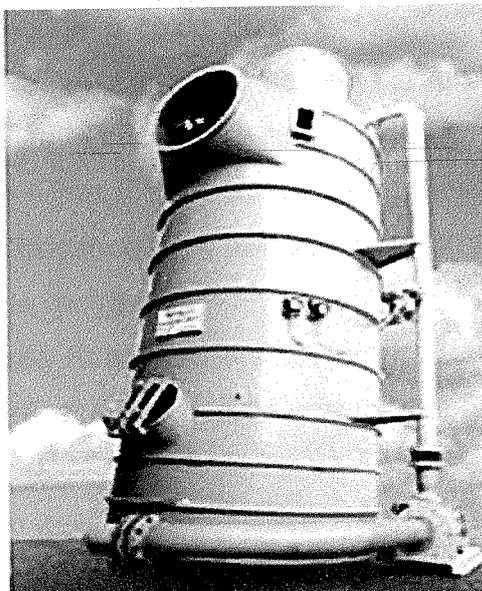


Figura 9: Foto do Secador

## 2.2. Produção de Álcool

É importante salientar que as quatro primeiras etapas para a produção do álcool são exatamente iguais a da produção do açúcar, diferenciando apenas a partir da quinta etapa.

Segundo a Embrapa e a Copersucar, o processo industrial de produção de álcool a partir da cana-de-açúcar segue as seguintes etapas:

- Lavagem da cana.
- Preparo para moagem ou difusão.
- Extração do caldo: moagem ou difusão.
- Purificação do caldo.
- Tratamento do caldo para a produção de álcool.

Após passar pelo processo de purificação, o caldo é submetido a um tratamento mais completo que implica na adição de cal, aquecimento e posterior decantação.

Em geral, o resfriamento do caldo é feito em duas etapas:

- a. fazendo-se passar o caldo quente (esterilizado) por um trocador de calor (regenerativo) em contra corrente com o caldo misto frio, onde o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado ( $60^{\circ}\text{C}$ ).
- b. Resfriamento final até aproximadamente  $30^{\circ}\text{C}$ , normalmente realizado em trocadores de placas utilizando água em contracorrente, como fluído de resfriamento.

Livre de impurezas (areia, bagacilhos etc.) e devidamente esterilizados, o caldo está pronto para ser enviado para a fermentação.

- **Fermentação do caldo.**

A fermentação do caldo consiste em duas etapas, a preparação do fermento e a fermentação propriamente dita.

1. Preparo do fermento:

O processo de fermentação comumente mais usado nas destilarias do Brasil é o de Melle – Boinot, cuja característica principal é a recuperação da levedura através da centrifugação do vinho.

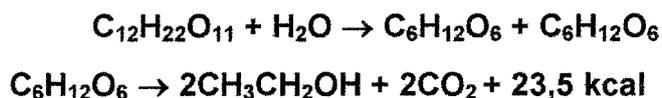
Esta levedura recuperada, antes de retornar ao processo fermentativo, recebe um tratamento severo, que consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até, normalmente,  $\text{pH} = 2,5$ , ou mais baixo ( $\text{pH} = 2$ ) no caso de haver infecção bacteriana.

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

2. 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 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 10 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 de fermentação e à necessidade da temperatura ser mantida baixa (32°C), é necessário realizar o resfriamento do vinho, circulando água em serpentinas internas às dornas ou em trocadores de calor, por onde o vinho é bombeado continuamente com água em contracorrente.

Atualmente este processo de fermentação é realizado de forma descontínua ou contínua, em dornas abertas ou fechadas. Nestas últimas, procede-se 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.

- **Destilação do vinho e retificação.**

O vinho que vem da fermentação possui em sua composição, 7<sup>o</sup> a 10<sup>o</sup> 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%, glicerol, alcoóis homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succinico e acético e etc., 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>.

A destilação é processada em três colunas superpostas: A, A1 e D, nestas o etanol é separado do vinho (inicialmente com 7<sup>o</sup> a 10<sup>o</sup>GL) e sai com a flegma (vapores com 40<sup>o</sup> a 50<sup>o</sup>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 epuração, sendo a flegma retirada no fundo e enviada a coluna B. Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos, são concentrados na coluna D e retirados no seu topo, sendo condensados em dois condensadores, onde uma fração deste líquido (90% a 95%) retorna ao topo da coluna D e a outra é retirada como álcool de 2<sup>a</sup>, com graduação de aproximadamente 92<sup>o</sup>GL, ou retornando a dorna volante.

Uma coluna tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de álcool do seu produto de fundo, que é denominado vinhaça. A vinhaça, retirada em uma proporção de 13 litros por litro de álcool produzido, e 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<sup>o</sup>GL. O aquecimento da segunda coluna (coluna B) é realizado pela injeção de vapor (escape ou vegetal) no fundo desta coluna, ou indiretamente através do trocador-evaporador. A finalidade da coluna B é concentrar a flegma a uma graduação de aproximadamente 96<sup>o</sup>GL e proceder a sua purificação com a retirada de impurezas que a acompanham, como alcoóis homólogos superiores, aldeídos, estéreis, 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 sequência de condensadores onde parte do calor é recuperado pelo vinho, uma fração do condensado é reciclada e outra é retirada como álcool de 2<sup>a</sup>. Do fundo da coluna B é retirada uma solução aquosa chamada flegmaça, que foi esgotada e que pode ser reciclada no processo ou eliminada. Os alcoóis homólogos superiores, denominados óleos fúsel e alto, são retirados de bandejas próximas a entrada da flegma. O óleo alto retorna a 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.

- **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 a 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 passar pelo processo de desidratação.

A desidratação utiliza uma coluna de desidratação, sendo o ciclohexano alimentado no topo da coluna e o álcool a ser desidratado alimentado a um terço abaixo do topo da coluna. Neste processo, o ciclohexano tem a característica de formar com o álcool e a água uma mistura ternária (azeotropo) com um ponto de ebulição de 63°C.

Este menor ponto de ebulição da mistura em relação ao álcool (78°C) faz com que a água seja retirada no topo da coluna. Por condensação, esta mistura azeotrópica irá se separar em duas fases, sendo a fase inferior mais rica em água, enviada para uma outra coluna onde ocorre a recuperação do ciclohexano, que retorna ao processo de desidratação. O álcool anidro obtido, com um teor alcoólico em torno de 99,3% p/p, é retirado na parte inferior da coluna de desidratação e encaminhado para comercialização.

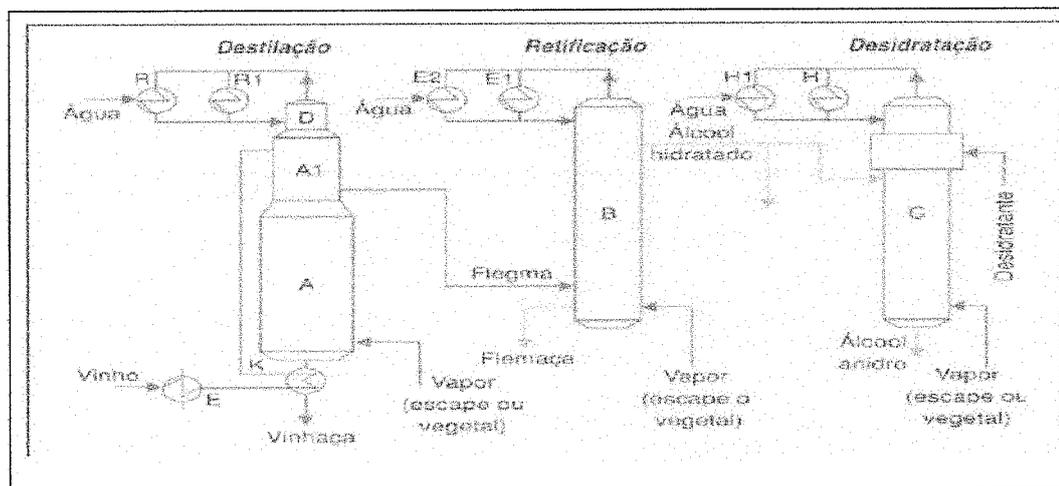


Figura 10: Processo simplificado de destilação do álcool.

### 3. IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO PROCESSO INDUSTRIAL DAS USINAS DE AÇUCAR E ÁLCOOL E MEDIDAS MITIGADORAS

Nas usinas de açúcar e álcool, o processamento da cana é feito com o uso intenso de água, energia térmica e eletromecânica, cuja fonte principal provém da queima, nas caldeiras, do próprio bagaço da cana. Durante a safra, muitas usinas são autônomas na geração de energia elétrica consumida. Secundariamente, são empregados reativos químico-biológicos como: soda cáustica, cal, ácidos e leveduras. Como resultado do processo, são produzidos: açúcar, álcool, proteínas de leveduras, além de toda uma série de resíduos sólidos, líquido e gasosos.

**Tabela 1: Principais resíduos da produção de açúcar e álcool**

Resíduos e/ou subprodutos	Características principais	Disposição
Água da lavagem da cana	Vol.: 2-7 m <sup>3</sup> /tc DBO: 200 - 1200 mg/L pH = 4,8	Fertirrigação Recirculação Tratamento e/ou descarte
Condensados vegetais (secundários)	Vol.: 0,55 m <sup>3</sup> /tc DBO: 500 - 1000 mg/L	Fertirrigação Recirculação Tratamento e/ou descarte
Águas dos condensadores barométricos e dos multijatos	Vol.: 10 - 20 m <sup>3</sup> /tc DBO: 100 - 300 mg/L t = 35 - 40 °C	Fertirrigação Recirculação Tratamento e/ou descarte
Condensados de caldeiras e purgas	Baixo potencial poluidor	Recirculação
Águas da lavagem de equipamentos e pisos	Alta concentração de sólidos sedimentáveis DBO: 400 - 15000 mg/L	Fertirrigação Descarte
Águas residuais domésticas	75 - 120 l/dia.trab. Presença de coliformes	Fossas/sumidouros
Vinhaça	≈ 156 l/tc (destilaria anexa) e 910 l/tc (destilaria autônoma) Alto potencial poluidor	Fertirrigação, fermentação anaeróbica, combustão em caldeiras, outros usos
Torta de filtro	30 - 40 Kg/tc Alta DBO	Fertilizante, produção de ceras
Material particulado e gases provenientes da queima do bagaço de cana	Particulados 4000 - 6000 mg/Nm <sup>3</sup> ≈ 6 Kg/tc.NO <sub>x</sub>	Atmosfera com ou sem equipamentos de controle

tc = tonelada(s) de cana moída na usina

Fonte: Salles (1993); Bichara e P. Filho (1991)

Os resíduos gerados no processamento da cana são:

- **Vinhaça**

Também conhecida como vinhoto, a vinhaça é um subproduto resultante da destilação do fermentado do caldo de cana na produção de álcool.

Abaixo temos um quadro com as principais características físico-químicas da vinhaça.

**Tabela 2: Principais características físico-químicas da vinhaça**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>
pH	-	3,50	4,15	4,90
Temperatura	°C	65	89	111
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	6680	16950	75330
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	9200	28450	97400
Nitrogênio	mg/L	90	357	885
Nitrogênio amoniacal	mg/L	1	11	65
Fósforo Total	mg/L	18	60	188
Potássio Total	mg/L	814	2035	3852
Cálcio	mg/L	71	515	1096
Magnésio	mg/L	97	226	456
Manganês	mg/L	1	5	12
Ferro	mg/L	2	25	200
Sódio	mg/L	8	52	220
Cloreto	mg/L	480	1219	2300
Sulfato	mg/L	790	1538	2800
Sulfito	mg/L	5	36	153
Etanol - CG	% v/v	0,01	0,09	1,19
Levedura	% v/v	0,38	1,35	5,00
Glicerol	% v/v	0,26	0,59	2,5

Fonte: Elia Neto e Nakahodo (1995)

Em média se produz de 10 a 15 litros de vinhaça por litro de álcool. Este resíduo líquido apresenta temperatura elevada; pH ácido; corrosividade; tem alto teor de potássio; além de certas quantidades significativas de nitrogênio,

fósforo, sulfatos, cloretos e etc. O seu despejo nos rios e lagos provoca o fenômeno da eutrofização e morte de peixes.

Para evitar este tipo de impacto, começou-se a utilizar a vinhaça como fertirrigador, o que se mostrou uma ótima alternativa, uma vez que essa é utilizada para irrigar a cana, adubando e ao mesmo tempo aumentando a produtividade. Porém, com o passar dos anos há um aumento na produção de álcool, o que resulta em um aumento também na produção de vinhaça e juntamente com este aumento, teve-se que aumentar o uso deste subproduto no solo, e isso acabou gerando alguns problemas, tais como:

- O uso da vinhaça no solo acabou contaminando o lençol freático em regiões onde este se encontra próximo a superfície.
- Ao aumentar a capacidade da usina, torna-se necessário uma maior quantidade de cana-de-açúcar que nem sempre é da usina, e sim de fornecedores, diminuindo assim a área para aplicação da vinhaça.
- Da mesma forma que se a usina comprar novas terras, ela pode ficar em regiões descontínuas e mais distantes, inviabilizando o transporte por tubos ou mesmo pelo caminhão, quando muito distante.
- Pelas características da vinhaça, esta quando aplicada ao solo, acaba alterando a qualidade do mesmo, principalmente quando utilizada em excesso, o que pode causar saturação de alguns nutrientes, principalmente o potássio.

Uma alternativa para esses problemas é a diminuição da produção de vinhaça. Isso é conseguido dependendo de como é a configuração dos equipamentos da destilaria, com isso pode-se reduzir de 15 para até 10 litros de vinhaça por litro de etanol.

Para reduzir a quantidade de vinhaça é comum separar a flegmaça, isso é feito quando se tem uma coluna para esgotá-la, para que não se perca etanol na base da coluna de retificação. Com essa coluna a mais não se retorna o flegma semi-exaurido para a coluna de esgotamento do vinho. Existem várias utilidades para a flegmaça retirada desta coluna, uma vez que sua composição é água quente e limpa, podendo ser reaproveitada para lavagem dos fermentadores e trocadores de calor. Com esta tecnologia já se reduz o volume da vinhaça em 2 a 2,5 litros por litro de etanol.

Existem também outras duas alternativas que podem ser usadas para se reduzir a produção de vinhaça. A primeira é a concentração por evaporação, que reduz seu volume consideravelmente, pode ser usada na ração animal, aumenta seu poder fertilizante, pode ser queimada em caldeiras especiais gerando energia, e diminui a captação de água da usina, se o condensado retirado da evaporação for tratado e reutilizado no processo. A outra alternativa é o aquecimento direto, onde o vapor utilizado para aquecer a coluna, é gerado por sua própria base, com o calor da fonte de vapor externa, não sendo incorporado o condensado deste vapor na vinhaça. Esta alternativa reduz o volume da vinhaça em 2 a 4 litro por litro de etanol.

- **Águas**

Vindas dos processos de lavagem da cana-de-açúcar, dos condensadores barométricos, da lavagem de equipamentos e pisos, águas residuais domésticas e condensados de caldeiras e purgas, exceto esta última que é de baixo potencial poluidor, podendo ser usada na recirculação, todas tem um potencial poluidor considerável se lançadas de forma indiscriminada nos corpos d'água,

Por isso é indispensável que se promova a segregação destas águas residuárias seguido pelo tratamento das mesmas para que ao lançar estes efluentes nos corpos d'água, os mesmos estejam dentro dos padrões legais de emissão e qualidade vigentes.

Na maioria dos países produtores de açúcar, já existem normas de controles de efluentes líquidos para as usinas, que estabelecem um limite de quantidade de orgânicos, entre 15 e 60 mg/L de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), nestes países, o tratamento dos efluentes é realizado em lagoas anaeróbicas e aeróbicas.

O Banco Mundial faz exigências quanto ao máximo de concentração de *poluentes nos efluentes, conforme tabela a seguir.*

**Tabela 3: Concentrações máximas de poluentes nos efluentes da usina de açúcar e álcool.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor máximo</b>
pH	6-9
DBO <sub>5</sub>	50 mg/L
DQO	250 mg/L
Sólidos totais em suspensão	50 mg/L
Óleos e gorduras	10 mg/L
Nitrogênio total (NH <sub>4-N</sub> )	10 mg/L
Fósforo total	2 mg/L

Fonte: World Bank (1997)

Além disso, como medida de prevenção da poluição, os especialistas recomendam que a vazão de efluentes seja reduzida até 1,3 m<sup>3</sup>/tc, com tendência a atingir o nível de 0,9 m<sup>3</sup>/tc, implementando a recirculação da água.

No passado, foram inúmeros os episódios de poluição das águas causada pelo lançamento de efluentes líquidos nos corpos de água. A alta carga orgânica, associada à baixa vazão dos corpos receptores, provocou incontável mortandade de peixes. Nesta época, as águas de lavagem de cana e vinhaça eram lançadas nos rios.

- **Torta de filtro**

Como resultado da clarificação do caldo, com emprego de polietrólitos e outras substâncias químicas, tem-se a geração de um lodo, conhecido como torta de filtro. Para cada tonelada de cana moída obtém-se cerca de 30 a 40 kg de torta.

Após a separação industrial, tal resíduo é acumulado em áreas ao ar livre, diretamente sobre o solo, para armazenamento temporário até seu destino final, na adubação da cana.

Na medida em que a torta é um lodo decantado, verifica-se a concentração de diversos metais: alumínio, manganês, zinco e ferro. Em função de sua característica orgânica, o resíduo apresenta elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o que causa poluição se carregado até os corpos d'água.

Estudos realizados por Ramalho e Amaral (2001) apontam para um aumento na concentração dos teores de metais pesados em solos que tradicionalmente recebem tratamentos culturais à base de torta de filtro e um potencial risco de contaminação do lençol freático, uma vez que estes metais não são absorvidos pela planta e tendem a percolar. Previamente é recomendável que as atuais áreas de compostagem ao ar livre sejam providas de base compactada e impermeabilizada com geomembrana de Polietileno de Alta Densidade, de maneira a assegurar não contaminação do solo e águas subterrâneas por resíduos de torta de filtro.

Infelizmente não foram encontrados estudos que tenham determinado as taxas de aplicação mais recomendadas de forma a assegurar a não contaminação do solo e das águas subterrâneas.

- **Gases e material particulado**

Toda demanda de energia térmica, elétrica e mecânica, de uma usina é suprida a partir da queima de bagaço em caldeiras, para a geração de vapor.

A queima do bagaço de cana gera como principais poluentes: material particulado (MP), monóxido e dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. O MP está associado ao residual de cinzas, fuligens e outros materiais. Provoca efeitos estéticos indesejáveis em virtude de sua cor escura e causa incômodos ao bem estar público por causa de sua precipitação nas residências. Sua fração inalável penetra nos pulmões e diminui a capacidade respiratória. Para seu controle, geralmente, são empregados lavadores de gases que ao menos no início da safra os retém de maneira satisfatória.

Dentre os equipamentos utilizados para controle da poluição do ar nas usinas são encontrados também os multiciclones e, raramente, os

precipitadores, capazes de reduzir os particulados a  $60 \text{ mg/Nm}^3$ . Com a escassez da água, entretanto, alguns têm destinado atenção à possibilidade de se empregar filtros manga.

É importante frisar que o controle das emissões gasosas, das caldeiras a bagaço, devem ser feitas concomitantemente com o monitoramento da qualidade do ar nas principais cidades canavieiras, afim de que as emissões permaneçam controladas nos limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 382, de 2006.

#### 4. CONCLUSÃO

O mundo vive hoje uma busca por segurança energética, este é um dos principais desafios deste século, o Brasil tem muito a contribuir neste sentido pois, possui uma matriz energética com 46% de fontes renováveis num mundo que só utiliza 15%, a cana de açúcar é uma destas fontes renováveis que tem tomado nos últimos tempos uma proporção cada vez maior com a propagação das indústrias sucroalcooleiras pelo país e que trazem consigo grandes transformações nas regiões em que são implantadas. Neste contexto é importante que se busque essa segurança energética tendo em vista a não renovação das fontes de energias fósseis, contudo é vital que nesta busca haja uma consciência capaz de perceber que uma fonte renovável depende de um amparo à natureza de forma a possibilitá-la suprir essa necessidade.

No presente estudo pudemos identificar quão grande é o potencial impactante de uma indústria sucroalcooleira do ponto de vista de seu processo industrial, em contrapartida propusemos algumas medidas que visam minimizar e até mesmo anular alguns destes impactos; no entanto observamos que ainda faltam pesquisas mais aprofundadas para se criar novas medidas e aprimorar as que já existem.

É importante que o setor energético renovável cresça, mas de forma sustentável, e para isso deve-se desenvolver mais estudos e tecnologias que possibilitem essa renovação sustentável.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELIA NETO, A.; NAKAHODO, T. Caracterização físico-química da vinhaça. Centro de tecnologia canaveira, Piracicaba, 1995.

PAOLIELLO, J. M. M. Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. Dissertação de Mestrado. UNESP, 2006.

RAMALHO, J. F.; AMARAL Sobrinho, N. M. Metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. Revista Floresta Ambiente, V. 8, N<sup>o</sup> 1 jan./dez. de 2001.

COPERSUCAR. 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)

AGENCIA DE INFORMAÇÃO DA EMBRAPA Cana de açúcar. Processamento da cana de açúcar disponível em:

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_102\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html)