

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL
SUCROENERGÉTICA – MTA**

**TITULO: INFLUÊNCIA DAS IMPUREZAS MINERAIS NO TRATAMENTO DO
CALDO PARA AÇÚCAR CRISTAL**

JULIANA ZINSLY FACCO

**Piracicaba
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL
SUCROENERGÉTICA – MTA**

**TÍTULO: INFLUÊNCIA DAS IMPUREZAS MINERAIS NO TRATAMENTO DO
CALDO PARA AÇÚCAR CRISTAL**

JULIANA ZINSLY FACCO

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação MTA em Gestão de Produção Industrial Sucoenergética.

Aluno: Juliana Zinsly Facco

Orientador: Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi

**2012
SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
4.1 Histórico do setor sucroalcooleiro brasileiro.....	6
4.2 Composição e qualidade da matéria-prima.....	9
4.2.1 Importância da qualidade da matéria-prima para a indústria.....	11
4.3 Impurezas minerais.....	13
4.3.1 Variáveis relacionadas à quantidade de impurezas minerais.....	14
4.4 Processo produtivo de açúcar cristal e consequências das impurezas minerais.....	15
4.4.1 Recepção e preparo da cana.....	16
4.4.2 Extração de caldo.....	18
4.4.3 Tratamento de caldo.....	19
4.5 Influência das impurezas minerais no processo de Tratamento de Caldo para fabricação de açúcar cristal.....	20
5. CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

RESUMO

Este trabalho apresenta em forma de pesquisa bibliográfica as influências das impurezas minerais, presentes na cana-de-açúcar, no processo de tratamento de caldo para a fabricação de açúcar cristal, identificando a existência destas nas etapas do processo sucroalcooleiro e suas consequências. Em muitas ocasiões a presença destas, deve-se ao aumento da colheita mecanizada, condições climáticas, pragas e ao sistema de carregamento, ocasionando perdas nas etapas do processo de fabricação e desgaste prematuro dos equipamentos, esteiras, moendas, bombas, tubulações, entre outros. O controle no sistema de corte, com melhor desempenho, e investimentos em sistemas de limpeza mais eficazes para sua remoção são peças-chaves para reduzir a entrada das impurezas minerais no processo produtivo evitando os danos causados por estas ao processo.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, impureza mineral, processo sucroalcooleiro, perdas, desgastes, sistema de corte e limpeza.

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro brasileiro abrange as empresas que produzem açúcar e álcool, ou atuam em algum elo da cadeia produtiva desses elementos. No Brasil, este setor está diretamente relacionado às culturas de cana-de-açúcar, uma vez que este é o principal insumo para os processos produtivos citados. Muitas usinas trabalham com os dois produtos, açúcar e álcool, variando a proporção de cana dedicada a cada linha de produção de acordo com as variações e tendências do mercado. O açúcar pode ser classificado em diferentes tipos de acordo com a sua coloração e o grau de pureza do produto (LINS; SAAVEDRA, 2007).

O processo sucroalcooleiro tem como matéria-prima a cana-de-açúcar, que muitas vezes é fonte de entrada de materiais estranhos ou resíduos da colheita, entre eles a impureza mineral, que é composta por terra e pedriscos, estas impurezas estão alienadas a quantidade de torta e outros resíduos (EMBRAPA, 2012).

A mudança no sistema de colheita de cana, do corte manual com carregamento mecanizado para totalmente mecanizado com colhedoras e mais recentemente, corte mecanizado sem queimar (cana crua); resultou recentemente em elevação acentuada nas perdas de cana, podendo ultrapassar a 15% e aumento nas impurezas vegetais e minerais enviados à usina. A carga resultante da colheita mecanizada deveria ser composta apenas de cana. No entanto, ela apresenta também outros materiais indesejáveis, denominados impurezas que podem ser de duas origens: mineral e vegetal. O sistema de limpeza da colhedora tem como função separar esses materiais da carga. No entanto, parte ainda permanece junto com a cana, sendo levada para a usina onde pode alterar a qualidade do açúcar. A impureza mineral é extremamente danosa à indústria. Causa desgaste excessivo em inúmeros equipamentos industriais por abrasão, aumenta a perda de sacarose, aumenta as paradas da usina pelo desgaste, quebra de equipamentos e exige mudanças no processo. A quantificação das impurezas minerais está relacionada à: Condições e Estrutura física do Terreno, Pragas, Condições Climáticas, Sistema de Corte e Carregamento (BENEDITI; BROD; PERTICARRARI, 2012).

Diante do aumento da presença de impurezas minerais na cana entregues a usinas e seus impactos danosos a indústria, a proposta do trabalho é

descrever as influências das impurezas minerais na etapa do tratamento do caldo para açúcar cristal e quais medidas podem ser tomadas para diminuir a quantidade destas impurezas no processo e conseqüentemente diminuir as perdas.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi descrever, em forma de pesquisa bibliográfica, as influências das impurezas minerais da cana-de-açúcar no tratamento de caldo para fabricação de açúcar cristal. A pesquisa se propôs em identificar as impurezas minerais existentes no processo sucroalcooleiro, as variáveis relacionadas à quantidade de impurezas e a consequência da presença destas na etapa de tratamento de caldo do processo de fabricação de açúcar cristal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A busca nos bancos de dados foi realizada utilizando às palavras-chave “impureza mineral”; “cana-de-açúcar”; “tratamento do caldo”; “açúcar cristal” “perdas”, terminologias comum em português em sites como Scielo, Bibliotecas Digitais, Recursos Literários, Sites relacionados ao assunto e experiências profissionais, no período de 1977 a 2012.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Histórico do setor sucroalcooleiro brasileiro

A cultura da cana-de-açúcar no Brasil vem desde o descobrimento do país. As primeiras mudas plantadas datam de 1532 e a história da formação do setor se mistura com a própria história do país: as capitanias, os grandes latifúndios, os engenhos, assim como outras culturas (em especial do café) foram elementos importantes de nossa história e da cultura da cana do Brasil. Notadamente, a crise de 1929, marcada pela decadência do setor de café no interior paulista e pela chegada em larga escala de imigrantes italianos, determinou uma das

características que diferencia, até hoje, os produtores dessa região dos que atuam no nordeste do país: o domínio de famílias de origem italiana que buscava uma nova vida no Brasil (LINS; SAAVEDRA, 2007).

O governo de Ernesto Geisel criou o Programa Nacional do Álcool, o Proálcool, em 1975, com o intuito de substituir combustíveis derivados do petróleo, como a gasolina, por uma fonte alternativa e renovável. Dois anos antes, o mundo passava por uma grave crise do petróleo. O alto preço do barril estimulou o governo brasileiro a criar regras para que, num primeiro momento, o álcool anidro fosse adicionado à gasolina como forma de diminuir a importação dos barris de petróleo (VEJA, 2009).

Com a segunda crise do petróleo, em 1979, e o desenvolvimento da engenharia nacional, surgiram os motores preparados para trabalhar exclusivamente com o álcool hidratado. A demanda interna variou fortemente nas duas décadas seguintes. A flutuação explosiva desse mercado contou com o apoio do governo – também visto como um dos responsáveis pelas variações – para evitar um colapso das empresas e unidades produtoras. Nesses 30 anos, o Brasil foi capaz de estabelecer estrutura industrial e logística robusta para a produção e distribuição interna do etanol. Desde 1999, o setor sucroalcooleiro se desvincilhou da intervenção governamental nas atividades de planejamento e gestão da operação, sendo hoje regido pelas forças do mercado, sem a presença de subsídios ao preço do combustível. A maturidade do setor se reflete na movimentação dos principais *players* pela criação de novos mecanismos de mitigação de riscos, como os contratos futuros, e pela transformação do álcool em uma *commodity* negociável em bolsa (LINS; SAAVEDRA, 2007).

A viabilidade do setor sucroalcooleiro esta sendo colocada em cheque, prova disso são as mudanças que estão acontecendo, muito especificamente a questão ambiental. A real possibilidade de crescimento da demanda do álcool a nível mundial, esta relacionada ao esgotamento das fontes de petróleo, assim como o aquecimento global, provocado pelo aumento das emissões de dióxido de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis, sinalizam para um aumento expressivo da produção de etanol (ROSSEL, 2012).

Hoje, para aumentar a produtividade e recuperar mercado o setor sucroalcooleiro precisa de um investimento de R\$ 156 bilhões, segundo levantamento da União da Indústria de Cana de Açúcar. As cifras seriam para dobrar a produção de cana de açúcar, saltando das 555 bilhões de toneladas colhidas em 2011 para 1,2 bilhão em 2020. Garantindo a oferta de etanol e açúcar aos consumidores. “Só com esse investimento nós vamos conseguir atender essa demanda que é crescente”. Hoje nossa crise não é de mercado, é uma crise de oferta, afirma o diretor da UNICA na região de Ribeirão Preto, Sérgio Prada em uma entrevista ao site G1. Prado aponta que um desafio a ser superado é tornar o preço do etanol mais competitivo em relação a gasolina. Para reaquecer o setor, em janeiro o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDS) lançou o programa Prorenova, com orçamento de R\$ 4 bilhões. O financiamento é destinado a aumentar a produção de cana de açúcar no país, com ampliação e reforma dos canaviais (MATA, 2012).

O açúcar brasileiro é um dos mais competitivos do mundo em relação ao custo de produção. O produto é produzido no país a um valor quatro vezes menor do que o custo médio mundial de produção de açúcar de beterraba. No Brasil, a produção de açúcar tem crescido bastante. Entre as safras 1993/1994 houve crescimento de aproximadamente 130%. Na safra de 2007/2008 a região Centro-Sul respondeu por 85% da produção de açúcar, enquanto a região Norte-Nordestes representou 15% (VIAN, 2012).

De acordo com MAPA (2011) as estimativas obtidas pela AGE e SGE para a produção brasileira de açúcar indicam uma taxa média anual de crescimento de 2,2% no período 2010/2011 a 2020/2021. Essa taxa deve conduzir a uma produção de 42,3 milhões de toneladas, podendo, entretanto, no seu limite superior, atingir 52,2 milhões. Essa produção corresponde a um acréscimo de 8,3 milhões de toneladas em relação ao observado em 2010/2011. No limite superior da projeção essa diferença pode a 18,1 milhões de toneladas de acréscimo em relação a 2012/2011. As taxas projetadas para exportações e consumo interno para os próximos 11 anos são, respectivamente, de 3,8% ao ano e de 1,8% ao ano.

4.2 Composição e qualidade da matéria-prima

A cana-de-açúcar, pertence a família das gramíneas e ao gênero *Saccharum*. As canas nobres ou nativas, cultivadas em regiões tropicais e subtropicais do globo até a introdução de variedades nascidas de semente, pertenciam todas a mesma espécie: *Saccharum Officinarum*.

A formação de açúcar na haste da cana resulta de uma ação fotossintética. A cana é uma acumuladora de carbono, hidrogênio, oxigênio, energia solar, clorofila e forças radioativas, por via de suas folhas e de toda riqueza orgânica e mineral do solo, por via de suas raízes. É a cana-de-açúcar uma eficiente fábrica de carboidrato. Sob o ponto de vista tecnológico a cana-de-açúcar compõe-se de fibra e caldo. O caldo que se extrai da cana, é a matéria-prima da indústria açucareira, e tem composição variável. Para que possa ter ideia desta composição o caldo extraído de uma cana sadia possui a seguinte composição:

Tabela 1. Composição química do caldo de cana.

Elemento	Porcentagem (%)
Açúcares	± 19,0% do caldo
Sacarose	± 18,0%
Glicose	± 0,5%
Levulose	± 0,5%
Sais minerais	0,4%
Anidrido fosfórico P ₂ O ₅	
Ácido sulfúrico H ₂ SO ₄	
Matéria orgânica	1,2%
Proteínas	0,2%
Ácidos combinados	0,5%
Ácidos livres	0,03%
Pectinas	0,04%
Gomas	0,05%
Gorduras	0,01%
Ceras	0,03%
Materiais corantes	
Vitaminas	0,04%

Fonte: Oiticica et al. 2009 citado por Umebara, 2010.

Pode-se considerar que um colmo normal de cana madura contenha 12,5% de fibra e 88,0% de caldo. O colmo possui cerca de 25,0% de partes duras, representadas pelos nós, e cascas, e 75,0% de partes moles constituídas pelas partes internas dos meritalos. A composição da cana de açúcar varia entre países, entre regiões e nos distintos anos em uma mesma zona. O percentual em peso de sacarose oscila de 10 a 16%, segundo a sua origem (CASTRO; ANDRADE, 2006).

Uma cana boa para indústria é aquela com colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém-cortados, despontados e livres de matérias estranhas.

Matéria estranha é o material que não é cana e que vem junto à cana entregue à fábrica. Também é frequentemente chamada de impurezas (trash), embora o significado deste termo varie de acordo com a região produtora de açúcar. No sentido original, refere-se ao material foliar que acompanha os colmos da cana ao ser colhida, conceito ainda usado em muitas áreas. Atualmente, uma definição mais ampla é oficialmente adotada pelo HST, que inclui todo material estranho entregue com a cana, da raiz aos pontos de crescimento, e cobre não somente as folhas, mas também a ponta de crescimento e raízes, mato, terra, pedras, matéria casual (como material deixado na lavoura), material estrutural, peças de máquinas e até água superficial, um importante item na cana lavada (PAYNE, 1989).

A impureza mineral é composta por terra e pedriscos e a vegetal compõe-se de palha e ponteiros vindos da matéria-prima (BENEDITI; BROD; PERTICARRARI, 2012).

A qualidade da matéria-prima fornecida à indústria para o processamento é de suma importância para a diminuição das perdas no processo industrial, além de ter influência direta na qualidade dos produtos finais (açúcar e álcool), sendo assim é de grande importância possuir um conhecimento sobre as influências dessa qualidade no processo produtivo (PAYNE, 1989).

De acordo com Vian (2012) dois tipos de fatores afetam a qualidade da matéria-prima destinada a indústria:

- Fatores intrínsecos: relacionados à composição da cana (teores de sacarose, açúcares redutores, fibras, compostos fenólicos, amido, ácido aconítico, e mineral), sendo estes afetados de acordo com a variedade da cana, variações de clima (temperatura, umidade relativa do ar, chuva), solo e tratamentos culturais;

- Fatores extrínsecos: relacionados a materiais estranhos ao colmo (terra, pedra, restos de cultura, plantas invasoras) ou compostos produzidos por microrganismos devido à sua ação sobre os açúcares do colmo.

Para avaliar corretamente a qualidade da matéria-prima é preciso considerar dois aspectos: a riqueza da cana em açúcares e o potencial de recuperação dos açúcares da cana. A tabela 2 apresenta os principais indicadores da qualidade e os valores recomendados para a cana-de-açúcar.

Tabela 2. Indicadores da qualidade e valores recomendados para a cana-de-açúcar

Indicadores	Valores recomendados
POL	>14
Pureza (POL/Brix)	>85%
ATR (sacarose, glicose, frutose)	>15% maior possível
AR (glicose, frutose)	<0,8%
Fibra	11 a 13%
Tempo de queima/corte	< que 35 horas para cana com corte manual
Terra na cana (minerais)	<5,0 Kg/t cana
Contaminação da cana	<5,0 x 10 ⁵ bastonetes/ml no caldo
Teor de álcool no caldo da cana	<0,6% ou <0,4% Brix
Acidez sulfúrica	<0,80
Dextrana	<500 ppm/Brix
Amido da cana	<500 ppm/Brix
Broca da cana	<1,0%
Índice de Honig-Bogstra	>0,25
Palhiço na cana	<5,0%
Ácido aconítico	<1.500 ppm/Brix

Fonte: Ripoli e Ripoli, 2004 citado por VIAN, 2012.

4.2.1 Importância da qualidade da matéria-prima para a indústria

Segundo Mutton (2008) quando não se tem uma boa qualidade na cultura da cana, a mesma promove perdas industriais decorrentes das perdas de açúcares, além de favorecer a formação de substâncias coloridas, contribuindo para o aumento de cor. As impurezas minerais afetam diretamente o processamento, provocando menor extração através das moendas; aumentam a produção de torta e

as perdas; favorecem a formação de incrustações; favorecem a abrasão e corrosão no interior das caldeiras, além de comprometer a qualidade do produto obtido.

Impurezas vegetais, tudo que não é cana, folhas e ponteiros inclusive, reduz a capacidade de carga em até 15% por menor densidade de carga e a capacidade de moagem em até 5%. Além disso, as cinzas e amido, que prejudicam o processo de produção de açúcar estão mais presentes nestas. É preciso ter a maior representatividade possível nos resultados de impureza vegetal, trabalhar para reduzi e criar formas de mensurar seu impacto no processo (MIRANDA, 2009).

O processo de purificação do caldo objetiva obtenção de um caldo claro, transparente e brilhante, mediante a eliminação das impurezas dissolvidas e em suspensão no caldo, sem afetar o teor de sacarose. A ideia do processo de purificação está no processo de coagulação máxima dos coloides e na formação de um precipitado insolúvel capaz de adsorver e arrastar impurezas de natureza coloidal que provocam turbidez do caldo. Assim a precipitação e a decantação são diretamente prejudicadas quando se processa cana que está submetida a períodos de espera entre a queima/corte. As dextranas dificultam a clarificação porque agem como coloides neutros ou sem carga, bloqueando a agregação das partículas carregadas. A demora na decantação resulta em menor tempo de retenção do caldo no decantador, provocando ainda perdas de açúcares em função das condições operacionais de pH e temperatura do caldo. Por outro lado, as borras formadas e decantadas no fundo do decantador constituem um excelente meio de cultura para microrganismos contaminantes que se multiplicam à custa do consumo de açúcares, provocando maiores perdas e conseqüente redução da eficiência desta etapa do processamento. (MUTTON, 2008)

De acordo com Hugot (1977) no processo de fermentação alcoólica quando não se tem cuidados mínimos ao observar a qualidade da matéria-prima, podem ocorrer à formação de outros microrganismos, principalmente bactérias, que produzem fermentações indesejáveis, resultando em produtos estranhos à fermentação alcoólica normal. As bactérias contaminantes produzem ácidos orgânicos que por sua vez provocam fermentações paralelas, que reduzem o rendimento fermentativo, além de modificar as características do vinho diminuindo o teor alcoólico, que quando ocorre as perdas são mais elevados, caracterizando as perdas de açúcares no processo de deterioração microbiana.

A destilação corresponde a separação de diversas frações do vinho através de evaporação e sucessiva condensação do vapor obtido. A fração de interesse econômico é o etanol, que deverá ser separado dos componentes secundários formados durante a fermentação, assim como de outras impurezas que estejam presentes no vinho. Quanto maior a concentração destas substâncias, mais rigorosa deverá ser a destilação. Considerando-se que o álcool (hidratado ou anidro) deve atender a legislação específica quanto aos teores máximos de componentes, verifica-se que estas operações de purificação do destilado sempre são acompanhadas de perdas, que resultam em reduções das eficiências do processo (MUTTON, 2008).

4.3 Impurezas minerais

Impureza mineral é a terra (solo), principalmente, e pedras carregadas com os colmos durante o carregamento mecanizado ou o corte e carregamento (colhedoras). A determinação de terra vem sendo realizada pelo método da mulha, onde de 50 a 100 gramas de cana são incineradas de 450°C a 750°C por aproximadamente quatro horas ou mais e as cinzas resultantes pesadas para estimativa do teor de terra (FERNANDES, 2011).

As impurezas minerais são compostas por três frações principais, de acordo com o seu tamanho:

- **Areia** - a parte mais grosseira;
- **Silte** - uma parte um pouco mais fina, ou seja, o limo que faz escorregar no chão;
- **Argila** - uma parte muito pequena que para ser visualizada necessita de microscópios muito potentes, ou seja, a mesma que gruda no sapato (EMBRAPA, 2012).

O sistema de limpeza da colhedora tem como função separar esses materiais da carga. No entanto, parte ainda permanece junto com a cana, sendo levada para a usina (BENEDITI; BROD; PERTICARRARI, 2012). Valores aceitáveis (Tabela 2) de impurezas minerais estão entre 0,7 a 1,20%

Tabela 2. Tabela de classificação das impurezas minerais – CTC

Classificação	Porcentagens
Baixa	<0,7%
Média	0,7 a 1,2%
Alta	>1,2%

Fonte: CTC (Controle Mutuo) citado por PAES, 2011.

4.3.1 Variáveis relacionadas à quantidade de impurezas minerais

A quantidade de impurezas que chegam à indústria junto com a matéria-prima tem grande variação em função de vários fatores:

a) Condições climáticas

A incidência de impurezas minerais no processo sucroalcooleiro está ligada diretamente ao sistema de colheita, tanto manual como mecanizado com seus parâmetros de quantidade, mas no período chuvoso ou úmido, o aumento das impurezas é sempre observado, atingindo até 20% (PAYNE, 1989).

b) Pragas: Cupins

A questão das colônias é de fundamental importância para determinar ou reduzir as impurezas minerais, por se tratar de um inseto que constrói seu próprio abrigo, este abrigo é conhecido como torre, esta torre no momento do corte mecanizado é atingida pelo disco de corte revolvendo a terra de sua composição, estes fragmentos são muitas vezes conduzidos junto com os toletes. Com isso provoca o aumento significativo das impurezas minerais.

c) Sistema de corte

O corte manual é o modo mais comum de colheita da cana-de-açúcar, porém é alvo de muitas polêmicas relacionadas à queima da cana antes da colheita, que visa facilitar o corte. O trabalhador que faz a colheita manual utiliza uma ferramenta que pode ser denominada folha, podão ou facão, dependendo da região do país. Inicialmente, o trabalhador corta o material sem interesse para a usina, o que ocorre no caso da colheita da cana-crua. Porém, quando a cana-de-açúcar é queimada antes da colheita e tem sua palhada eliminada pela ação do fogo, não necessita que essa atividade seja efetuada pelos cortadores. Em seguida, o cortador faz o corte dos colmos da cana na altura basal e o corte dos ponteiros, lançando a cana cortada sobre o terreno para formação dos leitos. Muitas vezes o enleiramento efetuado pelos cortadores não está disposta na forma ideal para que as carregadoras recolham esta cana, um enleiramento deve ter como base a capacidade da garra das colhedoras, para que não ocorra muita manipulação desta cana no solo, evitando um maior arraste de impurezas e microrganismos diminuindo assim a quantidade da matéria-prima e posteriormente o produto final (ROSSETTO, 2012).

A mudança do sistema de colheita da cana, do corte manual com o carregamento mecanizado para totalmente mecanizado com colhedoras e mais

recentemente, corte mecanizado sem queimar (cana crua); resultou inicialmente em elevação acentuada nas perdas de cana, podendo ultrapassar a 15% e aumento nas impurezas vegetais e minerais enviados a indústria (BENEDITI; BROD; PERTICARRARI, 2012).

d) Sistema de carregamento

O carregamento mecânico da cana colhida manualmente é realizado com carregadoras convencionais tipo garra, acoplada em tratores. Após queimada, cortam-se eitos de 5 linhas (5 “ruas”), com o auxílio do facão (“podão”), colocando as canas inteiras despontadas dispostas em monte, formando um alto “colchão” de cana. Isso tem como objetivo diminuir as impurezas na carga (palha, pedra e principalmente terra), pois quando as canas são elevadas, as carregadeiras podem fincar as garras no chão, levando terra junto com a cana. No caso da colheita mecanizada, o carregamento é realizado concomitantemente com o corte pelas colheitadeiras mecânicas, que descarregam a cana picada diretamente nos caminhões para o transporte ou em unidades de transbordo. O controle das perdas deve ser realizado conjuntamente com o desenrolar da colheita e as ações corretivas devem ser adotadas caso as perdas sejam excessivas (NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009). Muitas vezes o operador arrasta a cana no solo, e com umidade, ela agrega impurezas, ocasionando um aumento significativo das impurezas.

4.4 Processo produtivo de açúcar cristal e consequências das impurezas minerais

Neste tópico é descrito, de forma genérica, o processo de fabricação de açúcar, identificando os pontos de perdas e as consequências devido a presença de impurezas minerais. Para entender o processo produtivo de açúcar é preciso haver interação entre o campo e a indústria, pois a matéria-prima (cana) fornecida pelo campo é responsável pela produção dos açúcares e a indústria é responsável pela recuperação (fabricação de açúcar).

A seguir tem-se o fluxograma ilustrativo da produção de açúcar cristal.

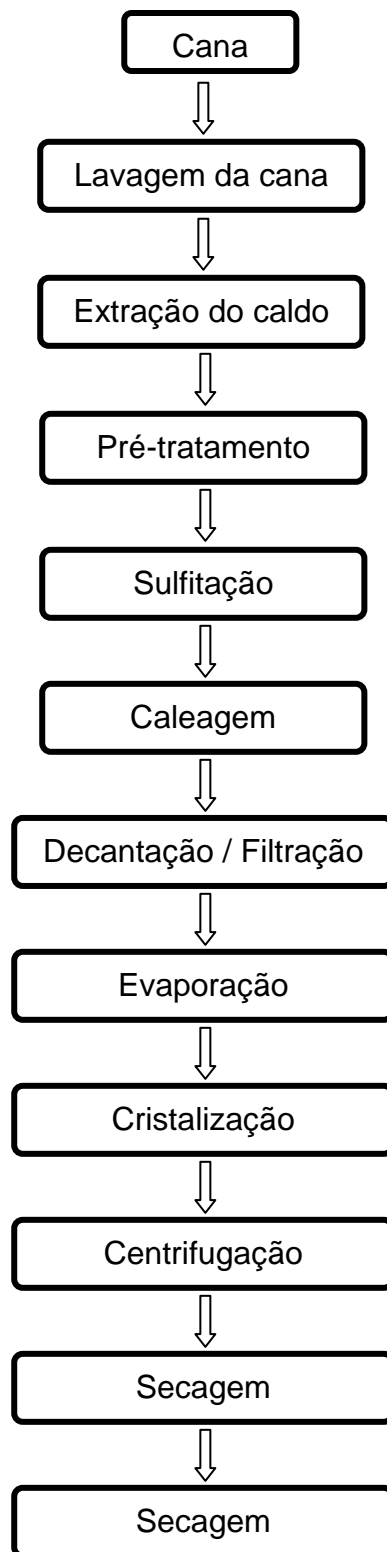


Figura 1. Fluxograma da produção de Açúcar

4.4.1 Recepção e preparo da cana

Os caminhões que transportam a cana até a usina são pesados antes e após o descarregamento em balanças eletrônicas, obtendo-se assim o peso real

da cana pela diferença das duas medidas. Algumas cargas são aleatoriamente selecionadas e amostradas por sonda extratora. O material coletado é homogeneizado, triturado e analisado em laboratório para determinação do teor de sacarose na matéria-prima. Este controle no laboratório de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) além de determinar a qualidade da matéria-prima recebida para pagamento dos fornecedores de cana pela ATR (açúcar total recuperável) proporciona ainda dados para o controle agrícola, o controle de moagem e para o cálculo do rendimento industrial (NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

Após a realização das amostragens, os caminhões seguem para a área de recepção e moagem, onde é efetuada a descarga com guinchos hyllo, que descarregam diretamente na mesa alimentadora, a alimentação de cana para as moendas é feita através da mesa alimentadora, com a função básica de lavar e conduzir a cana até a esteira principal do sistema de extração de caldo. (SILVA, 2009).

Grande parte das impurezas minerais (terra) que vem com a carga do caminhão do campo, é removida na mesa alimentadora, que utiliza água para lavagem da matéria-prima. A mesa alimentadora trata-se de um equipamento fixo, inclinado a um ângulo de 45 graus para aumentar a eficiência de lavagem, construídos por vigas e chapas metálicas, tendo aproximadamente 11 metros de largura, 6 de altura por 6 de comprimento. A cana é conduzida na mesa por arrastadores presos a diversas correntes metálicas especiais, movidas através de engrenagens fixas a um eixo principal, acionado por conjunto moto-redutor elétrico (HUGOT, 1977).

A cana inteira pode ser lavada com água, já a cana picada não é lavada, podendo ser limpa com sopragem de ar (limpeza a seco) para a retirada das impurezas vegetais. As mesas de recebimento de cana com limpeza a seco possuem peneiras e fundo falso para facilitar a remoção das impurezas minerais. A cana limpa é conduzida pela esteira metálica para ser preparada, principalmente no picador com jogo de facas oscilantes para picar a cana em pedaços menores. Em seguida, a cana picada é desfibrada em um equipamento que usa martelos oscilantes, aumentando a densidade da massa e formando um material mais homogêneo e com fibras longas, rompendo as células para facilitar a etapa seguinte de extração do caldo (NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009). A lavagem de cana tem por finalidade reduzir as impurezas provenientes do campo, entre elas as

impurezas minerais, e até mesmo fuligem resultantes da queima no canavial. Considera-se que a lavagem de cana é responsável pela remoção de grande parte das impurezas grosseiras, sendo que essa eficiência depende não só do volume de água, mas também da qualidade da aplicação, do tipo de mesa instalada e das condições de solo e clima durante o carregamento (ALCARDE, 2012).

Devido aos grandes problemas ocorridos nesta etapa, tais como perdas de açúcar, altos custos envolvidos na instalação, meio ambiente, tende-se a fazer com que as usinas interrompam a etapa de lavagem da cana. Sendo assim é possível citar outros agravantes que aumentam o número de perdas de açúcares e custos do processo, como a cana “machucada”, o grande volume de água utilizado, o projeto da mesa alimentadora, a superfície exposta ao contato, o tempo de contato entre a cana e a água e a vedação entre a mesa e a esteira de alimentação (HUGOT, 1977).

4.4.2 Extração de caldo

Depois da preparação a cana cai em uma esteira de borracha e passa pelo eletroímã onde é eliminado todas as partículas magnéticas contidas na cana, logo em seguida se inicia a alimentação dos conjuntos de extração de caldo do tipo ternos de moenda, cada conjunto é composto por seis ternos, cada terno possui de três a cinco rolos, que se caracterizam pela extração do caldo por esmagamento ou prensagem, ou seja, submetem a cana desfibrada a uma pressão mecânica muito grande, que aumenta a medida que o mesmo é extraído após passar por cada terno sucessivamente. A eficiência deste processo é de grande importância para minimização das perdas, pois no bagaço, resultante da prensagem se concentra cerca de 3 a 4% da perda de açúcar (PAYNE, 1989). A presença de impurezas minerais na moenda podem ter várias consequências.

A porcentagem de perda pode chegar até 1% da extração máxima da moenda durante a safra devido ao desgaste de seus componentes, calcula o gestor de P&D do Centro de Tecnologia Canavieira, Paulo de Tarso Delfini impurezas. No processo podem causar aumento de desgaste na esteira de cana, picadores, desfibradores, bombas, tubulações, regeneradores de calor e aquecedores. Diminui o poder calorífico do bagaço gerado. O desgaste prematuro do sistema de preparo de cana, trás um prejuízo significativo para a operação industrial pelas paradas

obrigatórias para manutenção. Os únicos equipamentos de parada periódica nas usinas são justamente os picadores e os desfibradores. Estima-se que as impurezas minerais geram um acréscimo de custos de manutenção da ordem de R\$ 0,50 a R\$ 0,70 por tonelada de cana moída. (AMÉRICO, et.al., 2010)

No caso do difusor, podem causar má percolação do caldo, entupimento das telas perfuradas, provocando transbordamento do caldo, perda de material (bagaço) e o ponto principal é a baixa extração.

4.4.3 Tratamento do caldo

O caldo de cana obtido no processo de extração apresenta impurezas solúveis ou insolúveis, que são eliminadas no tratamento de caldo por processo físico-químico. O tratamento químico consiste na coagulação, floculação e precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação (NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

Segundo Hugot (1977) o processo de preparação ou limpeza do caldo se inicia com o tratamento químico que começa com a sulfitação, onde é adicionado ao caldo dióxido de enxofre (SO_2), que tem por finalidade ajudar na obtenção de um caldo límpido e menos viscoso, em seguida é adicionado leite de cal para neutralizar o pH e ajudar na decantação. Após o tratamento químico o caldo é direcionado ao decantador onde é realizada a decantação por meio de clarificação. Para acelerar o processo de decantação, destruir microrganismos que podem vir a prejudicar a produção e impurezas, eleva-se a temperatura do caldo sob pressão, até 105°C em aquecedores a vapor, para em seguida ser despressurizado e reduzida a temperatura para 98°C por flasheamento, onde é eliminado grande quantidade de impurezas microbiológica (HUGOT, 1977).

As impurezas sedimentadas na etapa anterior se constituem no lodo, que é enviado para o setor de filtração com o objetivo de recuperar açúcar. A filtração é realizada com o auxílio de equipamentos rotativos a vácuo para a extração do caldo e tem como resíduo uma torta, que é enviada à lavoura para ser utilizada como fertilizante de solo (NETO; SHINTAKU; DONZELLI, 2009).

4.5 Influência das impurezas minerais no processo de Tratamento de Caldo para fabricação de açúcar cristal

A impureza mineral é considerada mais danosa ao processo industrial. Uma unidade média que moendo 2 milhões de toneladas por safra, com impurezas minerais da ordem de 20kg/ton de cana, ao final da temporada terá acumulado o equivalente a 40 mil toneladas de terra (ALCOOLBRAS, 2006).

De acordo com Manfrim (2011) a qualidade da cana-de-açúcar influencia a condução do tratamento de caldo a ser realizado, principalmente pelo aumento do processamento de cana crua picada, devido ao corte mecanizado, que leva muito mais impurezas minerais e vegetais dentro da indústria, tornando ainda mais conveniente o procedimento de um adequado tratamento. Com relação à produção de açúcar, o tratamento do caldo elimina as impurezas (terras, bagacilhos e materiais corantes) que interferem na qualidade final do açúcar, como: cor, resíduos insolúveis, cinzas, entre outros.

A dinâmica do setor sucroalcooleiro sugere que as usinas reforcem a sua preocupação com as tecnologias do caldo, para que possam atender o aumento da demanda de açúcar e atender aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado internacional (BEZZERA, 2005).

O caldo que será aquecido possui impurezas minerais, e quanto maior a quantidade destas no caldo causam consequências negativas para o processo, como, incrustações no feixe tubular, causando necessidade de limpeza periódica deste, caso isso não ocorra causará diminuição de troca térmica, diminuindo a eficiência do aparelho. A próxima etapa é a decantação, cujo objetivo é a remoção de impurezas do caldo.

A eficiência dos decantadores (Figura 2 e 3), equipamentos empregados na etapa de decantação, dependerá principalmente do pH do caldo após calagem (6,8 a 7,0), temperatura do caldo (105°C), remoção de gases incondensáveis (balão de flash), quantidade de fosfato no caldo (250ppm), adição de polímeros e da cana de boa qualidade em com poucas horas de corte.

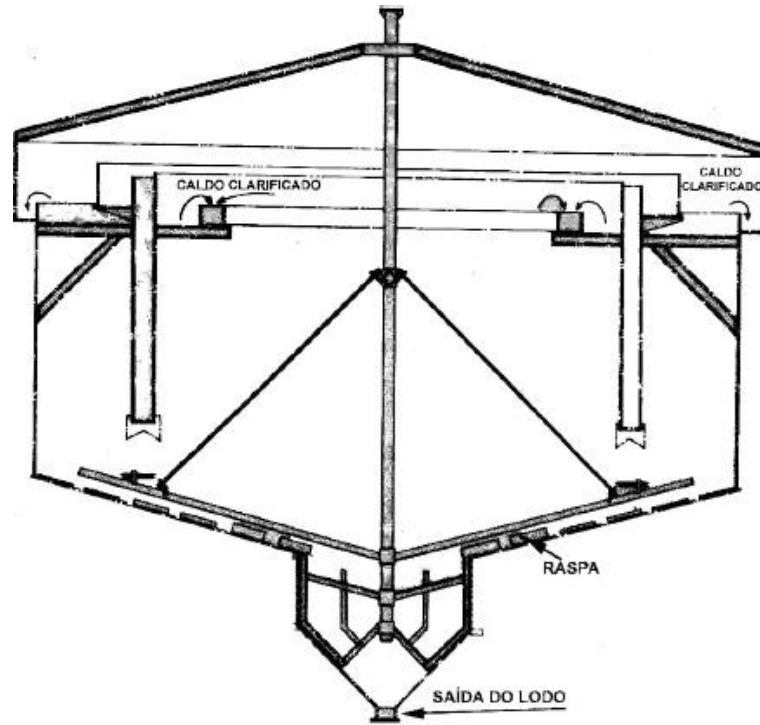


Figura 2. Decantador Rápido (Sem bandejas) - Magalhães (2009)

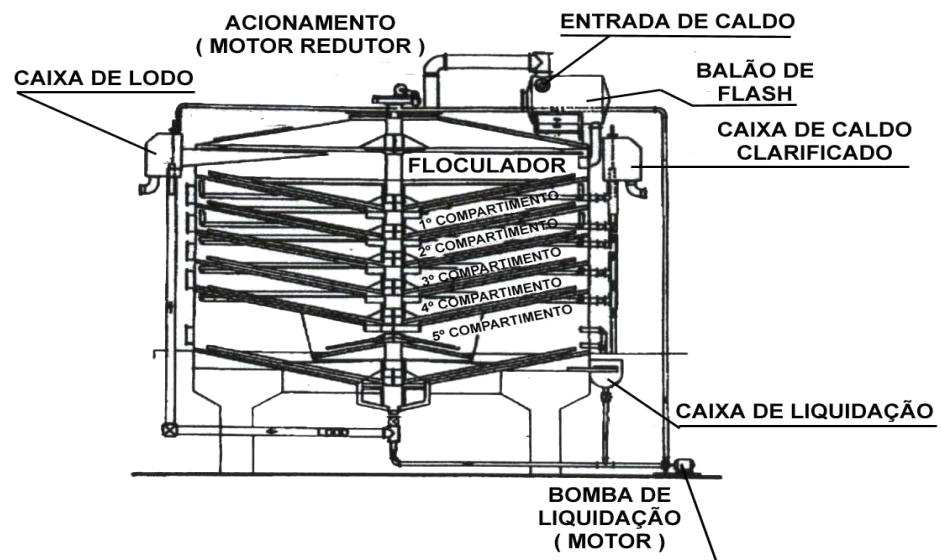


Figura 3. Decantador convencional - Magalhães (2009)

O processo posterior à decantação é a filtração. Os resíduos (terra, cera vegetal) resultantes da decantação é chamado de lodo, estes, são bombeados para os filtros prensas ou rotativos a vácuo onde é filtrado e extraído o máximo de

açúcar possível. É nesta etapa do tratamento de caldo que encontramos as perdas de torta de filtro determinada através da pol ou ART na torta.

A torta de filtro (Figura 4) é um importante resíduo a indústria sucroalcooleira proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo. A concentração da torta de filtro é constituída de cerca de 1,2 a 1,8% de fósforo e cerca de 70% de umidade. A torta também apresenta alto teor de cálcio e consideráveis quantidades de micronutrientes (ROSSETTO; SANTIAGO, 2012).

Com o aumento da terra na cana, também se elevam os déficits de açúcar principalmente durante a lavagem da cana e no processo de torta de filtro. Segundo Delfini, a perda de sacarose no tratamento do caldo está diretamente relacionada com o aumento das impurezas minerais e o respectivo crescimento da quantidade de torta produzida por tonelada de cana processada (ALCOOLBRAS, 2006).



Figura 4. Filtro rotativo a vácuo - Magalhães (2009)

O tratamento de caldo tem como objetivos a eliminação de impurezas grosseiras (bagacilho, areia, terra), que aumentam o desgaste dos equipamentos e as incrustações, além de diminuir a capacidade de produção. A questão das incrustações nos evaporadores esta relacionada à quantidade cálcio provenientes das impurezas, levando em consideração as regiões de expansão e a análise da composição das impurezas (ALCARDE, 2012).

Na etapa de tratamento do caldo as perdas são ocasionadas por vários fatores, sendo a presença de impurezas minerais responsáveis pelo desgaste de bombas hidráulicas, desgastes de rotor sendo necessário a aquisição de resinas para protegê-los, incrustações em relação a composição das mesmas especificamente o cálcio, aumento de insumos, principalmente no decantador convencional, recirculação do caldo (proveniente do lodo), redução da capacidade de trabalho, consequências da recirculação do lodo e interferências na qualidade do produto final (cor, resíduos insolúveis, cinzas, entre outros).

5. CONCLUSÃO

A impureza mineral é um problema para todas as usinas. A presença destas na matéria-prima podem ter consequências tanto no campo como na indústria causando desgastes nas máquinas que realizam a colheita e no processo podem prejudicar a recuperação de açúcar na indústria e provocar desgastes nos equipamentos. Suas consequências nas colhedoras é observado através do desgaste das facas do corte de base. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar causa acréscimo de impurezas minerais, durante o transporte seu impacto é quanto ao peso, pois a terra possui densidade maior que a da cana. A redução dos níveis de impurezas hoje praticados causa aumento das perdas de matéria-prima, pois estão relacionadas com as características tecnológicas disponíveis nas colhedoras. Na indústria, os grandes números de impurezas minerais provocam menor extração através das moendas, que por sua vez aumenta a perda de açúcar no bagaço, aumenta a produção de torta de filtro na decantação e aumentos das perdas. O excesso de impurezas minerais acaba sobrecarregando o sistema de decantação e filtração, havendo, eventualmente, a necessidade de redução da moagem e influenciar nas características tecnológicas do açúcar, aumentando sua cor. Além disso, na indústria, o impacto maior é no desgaste prematuro dos equipamentos, esteiras, moendas, bombas, tubulações, entre outros.

Para reduzir as impurezas minerais é preciso introduzir um sistema de corte de base independente e de melhor desempenho, sem aumentar as perdas e investir em sistemas de limpeza eficazes para eliminá-las, evitando a presença destas na indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, A. R., **Tratamento do caldo**. Disponível em:<
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_104_22122006154841.html>. Acesso em: 24 jul. 2012.

ALCARDE, A. R., **Extração**. Disponível em:<
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_103_22122006154841.html>. Acesso em: 29 set. 2012.

AMERICO, A.; AZEVEDO, M. J. G.; OLIVEIRA, R.; SOUZA, A.; PINHEIRO, H. P.;
Impureza mineral e vegetal impacto na indústria e porcentagem tolerável.
Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABeGQAI/impureza-mineral-vegetal-impacto-na-industria-porcentagem-toleravel>>. Acesso em 29 set. 2012.

BENEDITI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. **Perdas de Cana e Impurezas Vegetais e Minerais na Colheita Mecanizada**. Disponível em: <
<http://xa.yimg.com/kq/groups/20144470/1320106253/name/Perdas+de+cana+e+impurezas+vegetais+e+minerais++CTC.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

BEZERRA, C. E. F. Tecnologia no processo de calagem. **Revista Opiniões**, out./dez. 2005. Disponível em:<
<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=289>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

BRASÍLIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília, 2011. 59 p. Disponível em: <
http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%202020_0.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2012.

CANA LIMPA. **Revista Alcoolbras**. 99. ed., jan./fev. 2006. Disponível em:<http://www.revistaalcoolbras.com.br/edicoes/ed_99/ed_99.html>. Acesso em: 25 ago. 2012.

CASTRO, S. B.; ANDRADE, S. A. C. **Engenharia e Tecnologia Açúcareira**. 2006, Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAQIYAI/apostilia-engenharia-acucareira>>. Acesso em: 03 ago. 2012.

EMBRAPA, **Gestor cana**, Disponível em:< [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/A... - 14k](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/A...-14k)>, Acesso em: 24 jul. 2012

FERNANDES, A. C.; **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-Açúcar**. 3. Ed. Piracicaba: STAB, 2011. 416 p.

HUGOT, E. **Manual da Engenharia Açúcareira**. Vol I. São Paulo: Mestre Jou, 1977. 544 p.

LINS, C.; SAAVEDRA,R. **Sustentabilidade Corporativa no Setor Sucroalcooleiro Brasileiro**. 2007, Disponível em: <http://fbds.org.br/fbds/Apresentacoes/Relatorio%20Final%20Sucroalcooleiro.pdf>>, Acesso em: 24 jul. 2012.

MANFRIM, L. A. Tratamento de caldo: indispensável para uma boa produção. **Revista Opiniões**. jan./mar. 2011. Disponível em: < <http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=852>>. Acesso em: 22. Jun. 2012.

MAGALHÃES, A. C. M., **Álcool e Açúcar – Unidade II: Fabricação do Açúcar**, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAQ0oAE/alcool-acucar-unidade-ii-fabricacao-acucar>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

MATA, L. Setor sucroalcooleiro precisa de mais 120 usinas até 2020. **G1**, 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2012/02/setor-sucroalcooleiro-precisa-de-mais-120-usinas-ate-2020-diz-unica.html>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

MIRANDA, C. **Conceitos de gestão industrial – Controle da matéria-prima**. 2009. Disponível em:<<http://sacaroseonline.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 18 ago. 2012.

MUTTON, M. J. R. “**Reflexos da qualidade da matéria-prima sobre a fermentação etanólica**”. 2008. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/position_paper_painel2_marcia.pdf>. Acesso em 18 ago. 2012.

NETO, A. E.; SHINTAKU, A.; DONZELLI, J. L. Industrialização da cana-de-açúcar. In: **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília, 2009. p. 60 – 63.

PAES, L. A. D. **CTC – Impurezas e Qualidade da Cana-de-Açúcar**: Levantamento dos níveis de impurezas nas últimas safras. 2011. Disponível em: <<http://stab.org.br/impurezas/Luiz.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2012.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de Cana**. 1. ed. São Paulo: Nobel/STAB, 1989. 246 p.

PROÁLCOOL. **Revista VEJA**. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/arquivo_veja/proalcool-alcool-etanol-geisel-petroleo-carros-flex-economia-exportacao-cana-de-acucar.shtml>. Acesso em: 15 jul. 2012.

ROSSEL, C. E. V.; “I Workshop Tecnológico sobre Produção de Etanol”, Projeto Programa de Pesquisa em políticas Públicas: “**Qualidade da matéria-prima**”, Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PPaper_sessao_1_Rossell_000fxg4uzq002wyiv80soht9h3dff8cq.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2012.

ROSSETTO, R. **Corte**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_98_22122006154841.html>. Acesso em: 14 ago. 2012.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação – Resíduos alternativos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em 23 ago. 2012.

SILVA, A. S. B. **Um estudo detalhado das perdas no processo sucroalcooleiro: planejamento e controle de produção**, 2009, Disponível em:<<http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/80/1/AugustoSBSilva-EP.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2012.

UMEBARA, T. **Microfiltração de caldo de cana: caracterização do caldo permeado e retentado**, Curitiba, 2010. Disponível em:<<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/DissertaTiemi%20Umebara.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

VIAN, C. E. F. **Açúcar**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_109_22122006154841.html>. Acesso em: 14 ago. 2012.

VIAN, C. E. F. **Qualidade de matéria-prima**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html>. Acesso em: 14 ago. 2012.