

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – MTA**

**IMPACTO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NO TRATAMENTO  
DO CALDO DE CANA**

**GUSTAVO HENRIQUE GRAVATIM COSTA**

**Catanduva  
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO – MTA**

**IMPACTO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NO TRATAMENTO  
DO CALDO DE CANA**

**GUSTAVO HENRIQUE GRAVATIM COSTA**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucroenergético – MTA.

Aluno: Gustavo Henrique Gravatim Costa  
Orientador: Prof. Cláudio HartKopf Lopes

**Catanduva  
2013**

## **AGRADECIMENTOS**

A UFSCAR e a BIOCANA pela oportunidade de cursar esta especialização, assim como os conhecimentos técnicos e lições de vida transmitidas.

Ao professor Cláudio Hartkopf Lopes pela orientação, colaboração e paciência no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Carlos Alberto Costa e Vera Lúcia Gravatim Costa, por toda a ajuda e colaboração ao longo dos dois anos de curso.

A todos os colegas da turma do MTA/Catanduva 2013, pelas informações, amizade e diversão durante os anos em que se realizou o curso.



## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                      | 6  |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                                       | 7  |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                              | 8  |
| <b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                           | 9  |
| <b>4.1 QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA</b> .....                     | 9  |
| <b>4.2 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL</b> .....                       | 11 |
| <b>4.2.1 OPERAÇÃO PRELIMINARES</b> .....                        | 11 |
| <b>4.2.2 EXTRAÇÃO DO CALDO</b> .....                            | 12 |
| <b>4.2.3 TRATAMENTO DO CALDO</b> .....                          | 13 |
| <b>4.3 QUÍMICA DO CALDO DE CANA NA INDÚSTRIA</b> .....          | 15 |
| <b>4.3.1 COMPOSTOS ORGÂNICOS</b> .....                          | 16 |
| <b>4.3.1.1 SACAROSE</b> .....                                   | 16 |
| <b>4.3.1.2 AÇÚCARES REDUTORES</b> .....                         | 17 |
| <b>4.3.1.3 ÁCIDOS ORGÂNICOS NÃO-NITROGENADOS</b> .....          | 18 |
| <b>4.3.1.4 COMPOSTOS NITROGENADOS</b> .....                     | 19 |
| <b>4.3.1.5 NÃO AÇÚCARES COMPLEXOS DE ALTO PESO MOLECULAR</b> 21 |    |
| <b>4.3.1.5.1 CELULOSE</b> .....                                 | 21 |
| <b>4.3.1.5.2 HEMICELULOSE</b> .....                             | 22 |
| <b>4.3.1.5.3 LIGNINA</b> .....                                  | 22 |
| <b>4.3.1.5.4 PECTINA</b> .....                                  | 23 |
| <b>4.3.1.6 TANINOS E PIGMENTOS</b> .....                        | 23 |
| <b>4.3.1.7 CERAS E LIPÍDEOS</b> .....                           | 24 |
| <b>4.3.2 COMPOSTOS INORGÂNICOS</b> .....                        | 25 |
| <b>5. CONCLUSÃO</b> .....                                       | 29 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....                          | 30 |

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, sendo tal produto destinado principalmente a indústrias de bebidas e alimentos, tanto no mercado interno quanto externo. Vários fatores afetam a qualidade deste produto, como por exemplo a matéria-prima (cana-de-açúcar) empregada no processo. O caldo de cana é uma solução complexa, a qual apresenta diferentes compostos orgânicos e inorgânicos, os quais interferem, de diversos modos, em cada etapa do processamento industrial. Neste contexto, o presente estudo objetivou a caracterização do caldo de cana, relacionando os reflexos de seus compostos no tratamento químico empregado. As informações obtidas foram através de revisão bibliográfica de bibliotecas e bases de dados digitais, além de periódicos e livros direcionados para o setor sucroenergético. Observou-se que a cana-de-açúcar é constituído por duas fases: insolúvel (fibra) e solúvel (caldo). O caldo de cana é composto por água, açúcares e não açúcares, sendo estes últimos, os responsáveis por prejuízos a qualidade do produto final. Os não açúcares são constituídos de compostos orgânicos, como proteínas, aminoácidos, ácidos, pigmentos, ceras, etc; e inorgânicos, como fosfatos, oxalatos, sílica, entre outros. O tratamento químico do caldo de cana é o processo responsável por eliminação de grande parte destes elementos, através de coagulação e precipitação. Os agentes coagulantes utilizados na clarificação do caldo, determinarão a quantidade de impurezas removidas, sendo agentes mais fortes (enxofre) resulta em caldo clarificado de melhor qualidade. Conclui-se que cada elemento apresenta reflexos diferentes no tratamento de caldo e, caso estes permaneçam no caldo clarificado, a qualidade do açúcar poderá ser afetada assim como os equipamentos industriais utilizados.

Palavras-chave: defecação simples; sulfodefecação; coloides.



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com produção estimada para a safra 2012/2013 de 600 milhões de toneladas, sendo a região Centro-Sul do país responsável por 90% deste montante. Considerando-se a produção de açúcar, estima-se que para esta mesma safra haverá produção de 37,66 milhões de toneladas (CONAB, 2012).

O açúcar produzido no Brasil é o mais competitivo do mercado mundial, destinando-se, principalmente, a indústria bebidas e alimentos tanto no mercado doméstico quanto no internacional (ANNUNZIO et. al., 2012).

O tipo e qualidade do açúcar estão diretamente relacionados ao tratamento químico aplicado ao caldo. Quanto mais forte for o tratamento, menor serão as impurezas do cristal. Os tratamentos mais utilizados na indústria açucareira brasileira são a defecação simples e sulfodefecação, que resultarão na produção de açúcar VHP (Very High Purity) e Cristal Branco respectivamente (ALBUQUERQUE, 2011).

Sabe-se que o caldo de cana é uma solução complexa, a qual contém desde diferentes carboidratos à ácidos, proteínas, aminoácidos, lipídios, corantes e sais inorgânicos. Tais elementos são fundamentais para o desenvolvimento vegetativo da planta, entretanto podem ser maléficos as operações industriais, resultando em danos a equipamentos e açúcar produzido com baixa qualidade.

Estes compostos são os principais responsáveis pelo alto índice de cor, cinzas, dextrana e amido assim como os baixos teores de Pol do açúcar produzido (DELGADO & CESAR, 1977).

Neste contexto, o entendimento sobre os compostos presentes no caldo de cana e os reflexos que os mesmos apresentam sobre a clarificação deste é de grande importância para que se possa inovar e desenvolver novas tecnologias que diminuam custos e melhorem a qualidade do produto obtido.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do trabalho foi caracterizar o caldo de cana-de-açúcar, relacionando os reflexos de seus compostos orgânicos e inorgânicos sobre o tratamento químico e qualidade do caldo clarificado para produção de açúcar, utilizando dados disponíveis na literatura.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A busca nos bancos de dados foi realizada utilizando às palavras-chave “cana-de-açúcar”; “caldo de cana”; “tratamento de caldo”; “defecação simples”; terminologias comum em português e em inglês em sites como Scielo, Lilacs, Bibliotecas Digitais etc. Além de pesquisas em bancos de dados digitais, foi realizada buscas em literaturas impressas como livros e periódicos direcionados ao setor. Por ser um tema de poucas literaturas recentes, a revisão foi realizada em um período de 45 anos.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Qualidade da matéria-prima

A qualidade da matéria-prima é definida como o conjunto de características que a cana deve apresentar atendendo as exigências da indústria por ocasião do processamento, entretanto há uma variação natural destes parâmetros, que deve ser compatível com o processo. Neste contexto, quanto melhor e mais adequadas forem as condições de cultivo, melhor poderá ser a qualidade da matéria-prima, com maior acúmulo de açúcar e conseqüentemente a rentabilidade nos produtos finais da indústria sucroalcooleira (MUTTON, 2008).

Segundo Marques et al. (2008), há fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam a matéria-prima. Os fatores intrínsecos são aqueles relacionados com a composição da cana (fibras, açúcares redutores, amido, ácido aconítico, sacarose, entre outros). E os fatores extrínsecos são aqueles relacionados com materiais estranhos ao colmo (terra, plantas invasoras, pedras, restos de cultura, entre outras) ou substâncias produzidas pelos microrganismos.

A matéria-prima de baixa qualidade reduz a velocidade de processamento na indústria, e conseqüentemente, reduz a quantidade e qualidade dos produtos finais (CLARKE & LEGENDRE, 1999).

Segundo Ripoli & Ripoli (2009), para avaliar corretamente a qualidade da matéria-prima é preciso considerar dois aspectos. O primeiro deles é a riqueza da cana em açúcares. O segundo é o potencial de recuperação de açúcares da cana e a qualidade do produto final. Os autores ainda destacam indicadores da qualidade da matéria-prima, assim como valores recomendados (Tabela 1).

Observa-se, de acordo com a Tabela 1, que a matéria-prima ideal para o processamento industrial, deve apresentar a maior quantidade possível de sacarose em sua composição, assim como conter baixos teores de ácidos e biomoléculas, como amido e dextrana (fatores intrínsecos). Avaliando-se os fatores extrínsecos, verifica-se que a matéria-prima deve apresentar baixa quantidade de impurezas minerais e vegetais.

Além destes indicativos, deve-se considerar a quantidade de compostos fenólicos presentes na cana-de-açúcar, uma vez que os mesmos influenciam diretamente a qualidade dos produtos finais da indústria sucroalcooleira, seja aumentando a cor do cristal de açúcar (SIMIONI et al., 2006) ou agindo como inibidor do metabolismo da levedura em fermentação (RAVANELI et al., 2006).

**TABELA 1-** Indicadores da qualidade e valores recomendados para a cana-de-açúcar

| <b>Indicadores</b>               | <b>Valores Recomendados</b>                   |
|----------------------------------|---|
| Pol                              | >14   |
| Pureza (Pol/Brix)                | >85%  |
| ART (sacarose, glicose, frutose) | >15% (maior possível)                         |
| AR (glicose, frutose)            | <0,8%   |
| Fibra                            | 11 a 13%                                      |
| Tempo de queima/corte            | <35 horas para cana com corte manual          |
| Terra na cana (minerais)         | <5 kg/t cana                                  |
| Contaminação da cana             | <5,0 x 10 <sup>5</sup> bastonetes/ml no caldo |
| Teor de álcool no caldo da cana  | <0,6% ou <0,4% Brix                           |
| Acidez Sulfúrica                 | <0,80   |
| Dextrana                         | <500ppm/Brix                                  |
| Amido da cana                    | <500ppm/Brix                                  |
| Broca-da-cana                    | <1,0%   |
| Índice de Honig-Bogstra          | >0,25   |
| Palhiço na cana                  | <5%   |
| Ácido Aconítico                  | <1500ppm/Brix                                 |

Fonte: Ripoli & Ripoli, 2009

O amido e a dextrana são polissacarídeos, entretanto o primeiro é resultado do metabolismo da planta, enquanto o segundo é produzido por bactérias contaminantes (*Leuonostoc mesenteroids*). Ambas moléculas resultam em aumento de viscosidade do caldo, diminuição da quantidade de açúcar recuperado pela fábrica (grande formação de melaços), podem ficar retidos no cristal, além de serem compostos infermentescíveis para a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (AMORIM, 2005).

A presença de dextrana e microrganismos no caldo são variáveis diretamente relacionadas, uma vez que o primeiro é resultado do metabolismo do segundo. Tais fatores são potencializados quando há elevado tempo (acima de 35 horas) entre queima e o corte da cana, uma vez que o calor destrói a camada de proteção natural presente na planta, assim como desnatura enzimas importantes, beneficiando a desenvolvimento de microrganismos (RIPOLI & RIPOLI, 2009).

## **4.2 Processamento Industrial**

### **4.2.1 Operações preliminares**

As operações preliminares, referem-se as atividades desenvolvidas no campo, tais como avaliação do estágio de maturação da cana, o corte e carregamento, até o transporte e descarregamento dentro da usina (MARQUES *et. al.*, 2001).

Dentro do complexo sistema de produção da indústria açucareira, a maturação da cana-de-açúcar é um dos aspectos mais importantes, pois é dele que depende o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria prima para o funcionamento constante da usina durante o período de colheita. Sob uma perspectiva econômica e dentro da prática agrônômica, a cana é considerada madura, ou em condição de ser industrializada, quando apresentar teor mínimo de sacarose (Pol% da cana) de 12,275% do peso do colmo, sendo melhor o rendimento quanto maior for esta variável (DEUBER, 1987).

Sabe-se que os processos metabólicos de transporte e acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar são complexos, envolvendo a atividade de enzimas importantes como as invertases. Estas regulam a síntese (acúmulo) e a degradação (quebra) das hexoses na planta. Os fotoassimilados são direcionados mais intensivamente para o crescimento ou acúmulo dos carboidratos, respectivamente, quando as condições edafoclimáticas são favoráveis ou restritivas. Neste caso, ocorre a maturação (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Após determinado o ponto útil de industrialização da cana-de-açúcar, esta é submetida ao processo de colheita, a qual pode ocorrer em dois distintos sistemas: com ou sem queima prévia da palha, além de poder ser realizado o corte mecânico ou

manual. Atualmente, devido a rigorosas leis ambientais, as unidades de produção estão sendo condicionadas a substituir o corte de cana queimada pelo emprego de colheita de cana crua, com ampla utilização de maquinários agrícolas (RIPOLI & RIPOLI, 2009).

Os sistemas de transportes da cana, do campo para a indústria, ocorre em função das peculiaridades de cada região. Os mesmos podem ser em lombo de animais, característicos de regiões montanhosas, ferroviário, hidroviário e rodoviário; sendo este último modelo o mais utilizado no Brasil (SEGATO et al., 2006).

Ao chegar na usina a carga é pesada, amostrada e avaliada quanto a quantidade de sacarose presente, medida a qual é utilizada como pagamento da matéria-prima ao fornecedor e como controle para o balanço de massa da unidade industrial (MARQUES *et. al.*, 2008). Em seguida a mesma é descarregada diretamente na mesa lateral.

Ao ser descarregada na mesa lateral, a cana pode sofrer processo de lavagem com corrente de água ou ar, sendo o primeiro realizado somente em cana inteira, uma vez que pode remover grandes quantidades de açúcares. Este processo objetiva remover, principalmente, terra presente na matéria-prima (ALBUQUERQUE, 2011).

Após cair na esteira, a matéria-prima é encaminhada para picadores e desintegradores, equipamentos os quais visam preparar a cana para sofrer processo de extração. Tal método objetiva aumentar a superfície de contato das células da cana, facilitando, desta forma, a retirada de açúcares das mesmas (DELGADO & CESAR, 1977).

#### **4.2.2 Extração do caldo**

A extração do caldo consiste em processo físico de separação da fibra (bagaço) do caldo (NAZATO et al., 2012). Para as indústrias sucroalcooleiras existem dois métodos utilizados, por pressão e por difusão.

O processo de moagem é um sistema de separação física, que se utiliza de pressão mecânica para a separação do caldo (NAZATO *et. al.*, 2012). As moendas convencionais são compostas de três rolos (ternos), dispostos de uma forma que a

união dos seus centros formem um triangulo (MARQUES *et. al.*, 2001). Entretanto, somente a pressão exercida pelos rolos limita-se a uma eficiência de extração do caldo inferior a 90%, uma vez que, a certo ponto, a parte sólida e a líquida coalescem essencialmente em uma só quantidade de massa expelida. Neste contexto, para que ocorra eficiente separação da fibra e do caldo (97%) se faz necessário a adição de água, processo denominado de embebição (ALBUQUERQUE, 2011).

A embebição consiste em adicionar água ou caldo diluído na cana desfibrada ao longo de seu percurso nos ternos da moenda. Na embebição simples adiciona-se água em um ou mais pontos. Já a embebição composta consiste em adicionar água no ultimo terno e caldo diluído nos demais, utilizando o caldo diluído obtido da embebição do terno anterior (MARQUES *et. al.*, 2001).

O processo de difusão é definido por Favero (2011) como “um fenômeno osmótico pelo qual uma solução migra para outra de concentração diferente, através de uma membrana permeável a solução”. Este fenômeno é denominado "difusão" ou "lixiviação".

Na separação entre o caldo e a fibra da cana-de-açúcar, pelo processo de difusão, o caldo é deslocado da cana desintegrada por um fluxo em contracorrente de água ao invés de ser expelido por prensagem, como na moagem. Este método resulta em índices de eficiência de até 98% (ALBUQUERQUE, 2011).

#### **4.2.3 Tratamento do caldo**

Após o caldo ser extraído, este contém em sua composição elementos que são prejudiciais ao processo de produção de açúcar, como bagacilhos em suspensão, terra, compostos coloidais e iônicos. Desta maneira tais elementos devem ser removidos para que a qualidade do produto final não seja comprometida (HUGOT, 1969).

O processo de clarificação do caldo consiste na eliminação de impurezas dissolvidas e em suspensão, para obter um caldo claro, brilhante e transparente. O objetivo desta etapa é a coagulação de coloides, formação de precipitados insolúveis,



adsorção e arraste das impurezas e redução de turbidez do caldo (ALBUQUERQUE, 2011).

O tratamento inicia-se com a peneiragem do caldo em peneiras fixas, vibratórias ou rotativas, com o objetivo de remover bagacilhos em suspensão. A seguir, o caldo peneirado pode ser submetido a ação de hidrociclones, os quais apresentam como funcionalidade a remoção de terra da solução, evitando, desta forma, maior formação de lodo no processo de decantação. A remoção prévia de tais elementos faz-se necessário, uma vez que as mesmas promovem entupimentos de bombas, propiciando incrustações em canalizações e em tubulações (REIN, 2011).

Após as etapas iniciais, o caldo é submetido a ação de agentes químicos, os quais promovem a coagulação de proteínas e arraste de impurezas para o fundo do decantador. O agente químico utilizado determinará o tipo do açúcar a ser produzido, sendo que tratamentos mais brandos, resultarão em açúcares de qualidade inferior. Atualmente, o processo de defecação simples e sulfodefecação são os mais utilizados no Brasil, entretanto há unidades industriais que estão operando utilizando o processo de carbonatação e ozonização (ALBUQUERQUE, 2011).

O processo de defecação simples resulta no açúcar conhecido por VHP (Very High Purity), o qual consiste em adicionar hidróxido de cálcio ao caldo até que este atinja pH 7,0. Em seguida o mesmo é aquecido a 100-105°C, para que ocorra rapidamente a reação entre o cálcio adicionado e o fósforo presente no meio, resultando em um precipitado denominado fosfato de cálcico. Após aquecimento, o material é encaminhado a um decantador, onde permanecerá de 1 a 3 horas, para que todos os coágulos formados sedimentem, obtendo, desta maneira, o caldo clarificado (HUGOT, 1969).

O tratamento de caldo por sulfodefecação consiste, primeiramente, na adição, ao caldo, de enxofre na forma de sulfito, até pH 4,5. Em seguida é adicionado hidróxido de cálcio até que se atinja a neutralidade. O caldo dosado é aquecido a 100-105°C, para que ocorra rapidamente a reação entre o enxofre, cálcio e o fósforo, formando um precipitado denominado sulfito de cálcio. Após este procedimento, o caldo aquecido é enviado a decantador para sedimentação dos coágulos (MARQUES et al.,

2008). Este tratamento resulta no açúcar branco, ou seja com menor quantidade de impurezas presentes no cristal.

A carbonatação é um processo muito utilizado na purificação do caldo de beterraba e foi introduzido para a clarificação do caldo de cana, por volta de 1880. Este processo consiste na adição de hidróxido de cálcio e gás carbônico no caldo, sob condições controladas de temperatura e alcalinidade, formando um precipitado de carbonato de cálcio. Este, retira os compostos indesejáveis do caldo, pois incorpora grande parte da matéria insolúveis e semicoloidal, cinzas e substancias coloridas em suspensão, com posterior separação por filtração (FAVERO, 2011; HAMERSKI, 2009). Assim como a sulfodefecação, este tratamento resulta no açúcar branco.

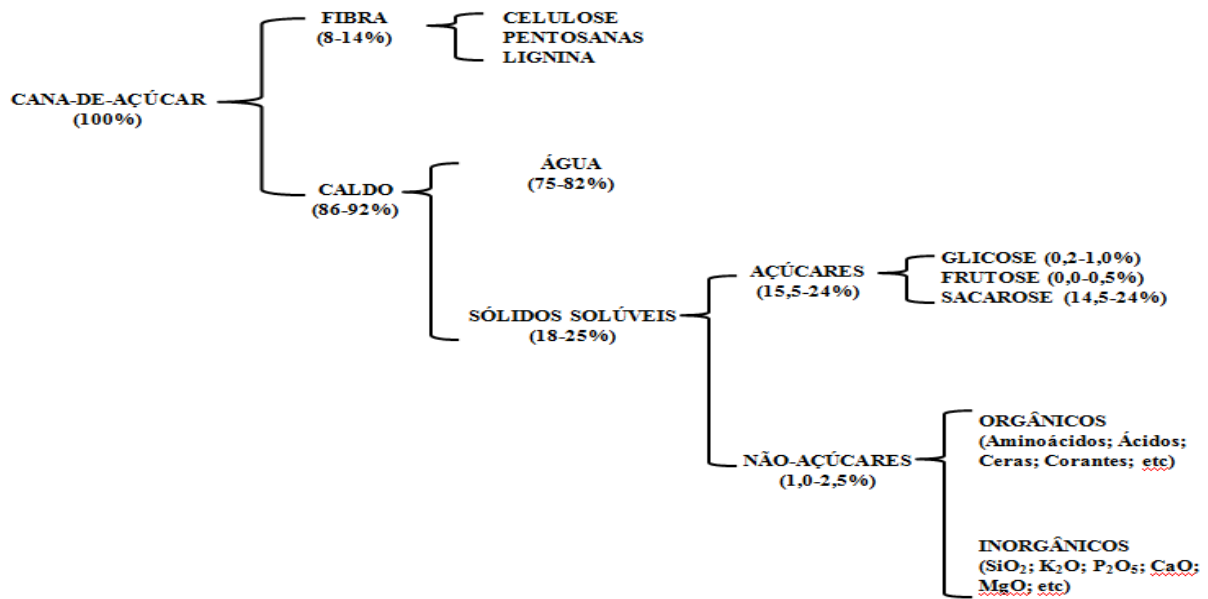
A clarificação separa o caldo em duas porções, caldo clarificado e o lodo (impurezas precipitadas). O caldo clarificado, que consiste em 80 a 90% do caldo original, quase invariavelmente passa para a evaporação sem mais tratamentos. O lodo formado é enviado para o setor de filtros para remover o máximo possível do açúcar ainda contido no mesmo e, o material restante, rico em compostos orgânicos e inorgânicos removidos do caldo, é enviado ao campo como fertilizante (ALBUQUERQUE, 2011).

#### **4.3 Química do caldo de cana na indústria**

O caldo de cana é um liquido opaco, de coloração parda a verde escuro, espumoso e viscoso (FAVERO, 2011). Este é um sistema coloidal complexo (UMEBARA, 2010), composto por água e por sólidos solúveis (MIRANDA, 2008).

Segundo Marques et al. (2008), a cana de açúcar apresenta, como composição tecnológica, duas fases, insolúvel e solúvel. A fase insolúvel é representada pela fibra da cana (8-18%), a qual é composta por celulose, lignina e pentosanas. A fase solúvel é o caldo propriamente dito (82-92%), o qual é composto por 75-82% de água e 18-25% de sólidos solúveis (Brix). Os sólidos solúveis são formados por açúcares (15,5-24%), sacarose, glicose e frutose; e por não açúcares (1-2,5%) como aminoácidos, ácidos, ceras, gorduras, corantes e sais inorgânicos (SiO, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, entre outros) (Figura 1).

Considerando a fabricação de açúcar, de todos os compostos presentes na cana, somente os carboidratos apresentam interesse comercial para a indústria, sendo os demais elementos, impurezas que devem ser retiradas ao longo dos processos. Neste contexto, é essencial o corte da matéria-prima no seu pico de maturação, ou seja, quando apresenta o máximo de armazenamento de açúcares.



**Figura 1** - Composição tecnológica do caldo de cana-de-açúcar

### 4.3.1 Compostos Orgânicos

#### 4.3.1.1 Sacarose

A sacarose é o principal açúcar armazenado pela cana (MARQUES et al., 2008). É um dissacarídeo formado por dois monossacarídeos: glicose e frutose. Os componentes monossacarídeos se condensam através de uma ligação glicosídica, formando uma molécula de sacarose e uma molécula de água (LEHNINGER et al., 2000).

Tal molécula apresenta elevada solubilidade em água, entretanto quando o meio apresenta sais, a solubilidade da sacarose é alterada assim como a do sal. Normalmente, pequenas quantidades de sal diminuem a solubilidade da sacarose,

enquanto que grandes quantidades aumentam esta grandeza. Este fato explica a formação de méis na cristalização da sacarose. Sabe-se que, em média, 5,0 gramas de açúcar são incristalizáveis para cada grama de sal presente no meio. Assim como os sais, os compostos nitrogenados também influenciam negativamente sobre a solubilidade da sacarose (ALBUQUERQUE, 2011).

Ao longo do processo industrial, a sacarose é submetida a diversos ambientes (ácido, alcalino, elevada temperatura, agitação mecânica, repouso) os quais podem alterar a característica de tal molécula. Quando a mesma é submetida a elevadas temperaturas e pH ácido degrada-se (reação de inversão), resultando em iguais concentrações de açúcares redutores - glicose e frutose (CHEN & CHOU, 1993).

Em meio alcalino e sob aquecimento a sacarose degrada-se formando furfural, acetona, ácido láctico, ácido acético, ácido fórmico, dióxido de carbono, entre outras substâncias (HONIG, 1969).

Tanto as substâncias formadas da reação de inversão ou de decomposição a partir da molécula de sacarose, são prejudiciais a fabricação do açúcar, pois podem diminuir a recuperação da fábrica formando mais mel, ou mesmo resultar em compostos que alteram a cor do cristal (HONIG, 1969)

Para evitar e minimizar as perdas de sacarose, as condições de trabalho durante o processamento do caldo de cana devem ser monitoradas, de forma que o pH permaneça o maior tempo possível próximo da neutralidade, evitando assim que não ocorra reação de inversão ou decomposição (HAMERSKI, 2009).

#### **4.3.1.2 Açúcares Redutores**

Os açúcares redutores são monossacarídeos caracterizados pela habilidade de reduzir íons metálicos como, por exemplo, o cobre que está contido na solução de Fehling (LEHNINGER et al., 2000). São formados, principalmente, por glicose e frutose, compostos os quais são bem mais reativos do que a sacarose.

Em meio ácido são praticamente estáveis, entretanto quando submetido a soluções alcalinas, decompõe-se, originando compostos orgânicos de características

escuras e coloridas, além de formar substâncias de característica melassigênica como, por exemplo, o ácido aspártico (DELGADO e CÉSAR, 1977).

Ao passo que a maior quantidade de sais aumentam a solubilidade da sacarose, a grande quantidade de açúcares redutores pode diminuir tal grandeza, fato importante para a indústria açucareira, pois a relação entre cinzas e açúcares redutores deve ser benéfica a cristalização da sacarose (STUPIELLO, 2000).

Outra característica importante destes compostos é a capacidade em reagir com aminoácidos presentes no meio, resultando em compostos de natureza escura, conhecidos por melanóides, tal reação é denominada "Reação de Maillard" (GODSHALL, 1999).

#### **4.3.1.3 Ácidos orgânicos não-nitrogenados**

Os ácidos orgânicos, dentre outros compostos não-açúcares, tem participação importante na fabricação do açúcar e do etanol. Dentre eles, os presentes no caldo são trans-aconíticos, oxálicos, acético, láctico, maleicos, entre outros (ALBUQUERQUE, 2011).

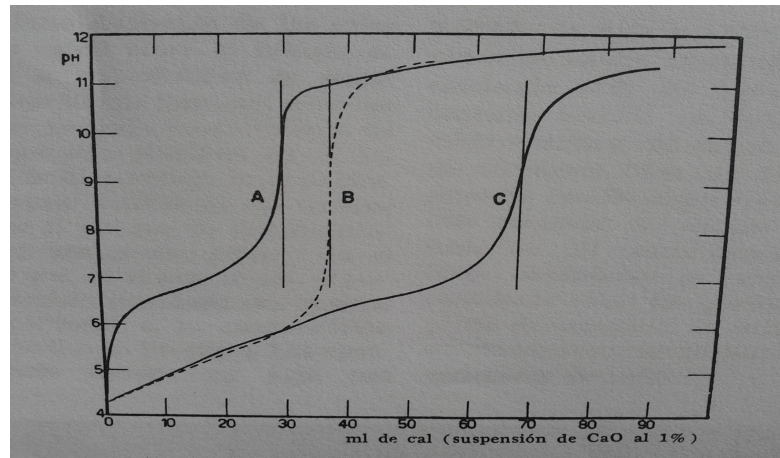
Os ácidos aconítico e oxálico são produzidos ao longo do processo de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, enquanto os ácidos acético e láctico são resultantes da ação de microrganismos.

Estes ácidos e seus alcalinos são bastante solúveis em água, e possuem importante efeito nas reações de clarificação e na limitação da recuperação do açúcar. Apresentam capacidade de entrar em reações complexas com açúcares e outros constituintes, além de serem menos estáveis que os ácidos minerais. São a causa provável de formação de substâncias melassigênicas não naturais, no processo de fabricação (ALBUQUERQUE, 2011; HONIG, 1969).

Os sais produzidos da reação entre os ácidos oxálico (oxalatos) e aconítico (aconitatos) com o cálcio no tratamento do caldo, são responsáveis pela formação de incrustações nas superfícies de aquecimento da fábrica (DELGADO & CESAR, 1977), fato que resulta em prejuízos econômicos para a indústria, pois pode

implicar na parada do processo, assim como há a necessidade da aquisição de insumos responsáveis por dissolver tais incrustações.

No processo de clarificação, a presença destes ácidos, principalmente o aconítico, influencia negativamente, uma vez que ocorre aumento da quantidade de cal para o ajuste do pH final. Segundo Honig (1969), o tratamento do caldo de cana contendo quantidades iguais de ácido aconítico e ácido fosfórico pode triplicar o consumo de hidróxido de cálcio para elevar o pH até 7, em relação a solução que contenha apenas ácido fosfórico (Figura 2).



**Figura 2** - Influência do Aconitato na Alcalinização. As curvas demonstram o curso da alcalinização das soluções puras e parcialmente neutralizadas de: A - ácido fosfórico; B - Ácido Aconítico; C - Ambos ácidos em iguais concentrações no meio.

Fonte: Honig, 1969.

#### 4.3.1.4 Compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados compreendem os compostos de alta massa molecular (proteínas), os aminoácidos e suas amidas, asparagina e glutamina (HAMERSKI, 2009). Do ponto de vista tecnológico, os compostos nitrogenados presentes no caldo influenciam diretamente nos sistemas de clarificação e cozimento, podendo resultar na formação de compostos coloridos, assim como diminuir a quantidade de açúcar recuperado pela fábrica (ALBUQUERQUE, 2011).

As proteínas no caldo são substâncias coloidais e com grande área superficial afetando negativamente a fabricação do açúcar, uma vez que influenciam a velocidade de cristalização. A presença de colóides na massa cozida tenderá a incrementar a viscosidade, afetando assim o trabalho centrífugo devido a quantidade de material coloidal presente (DELGADO & CESAR, 1977).

As proteínas são polímeros de aminoácidos, de alto peso molecular e estruturas complexas. São moléculas essenciais para a vida animal e vegetal, uma vez que são constituintes fundamentais das células dos tecido vivos (LEHNINGER et al., 2000).

No caldo de cana encontra-se, principalmente, albuminas, nucleinas e peptonas. Entretanto, as albuminas estão presentes com maior percentagem (ALEXANDER, 1973).

As proteínas são anfóteras, ou seja, seu comportamento químico depende diretamente do pH do meio, fato que resulta em diferentes pontos isoelétricos (LEHNINGER et al., 2000). Neste contexto, o caldo de cana por ser um meio rico e diversificado de proteínas, sofre remoção parcial destes compostos após o tratamento de caldo. Deve-se ressaltar ainda, que grande parte da coagulação destas moléculas ocorre, principalmente, decorrente do aquecimento a 100-105°C (ALBUQUERQUE, 2011).

Os aminoácidos são as unidades integrantes das complexas moléculas de proteína (HONIG, 1969). No tratamento de caldo por defecação simples, os aminoácidos simples apresentam-se estáveis (permanecendo sem precipitar), entretanto as demais moléculas podem ser removidas na forma de sais de cálcio (ALBUQUERQUE, 2011).

Caso não sejam removidos, os aminoácidos podem reagir com os açúcares redutores formando produtos de alto peso molecular e cor escura, chamados de melanoidinas. Tais moléculas apresentam capacidade de formar dispersões coloidais, que contribuem para inibir a cristalização. Além destes produtos escuros contribuírem na coloração da massa cozida (GODSHAL, 1999).

#### **4.3.1.5 Não-açúcares complexos de alto peso molecular**

Os importantes açúcares e constituintes solúveis que estão presente na cana, formando uma solução aquosa, são sustentadas por muitas fibras. As cadeias de fibras estão aderidas umas às outras por meio da hemicelulose, lignina e pectina. Constituído principalmente por proteínas, as paredes das células estão formadas por protoplasma. Estas estruturas estão interligadas com gomas e outros produtos complexos do metabolismo e síntese das plantas (CASAGRANDE, 1991).

Além da fibra propriamente dita, deve-se considerar as moléculas de taninos e pigmentos, presentes na cana-de-açúcar. Estes pigmentos encontram-se no núcleo das células, onde controlam os importantes processos de multiplicação e crescimento da planta como, por exemplo, a fotossíntese realizada devido ao efeito catalisador da clorofila (ALEXANDER, 1973).

##### **4.3.1.5.1 Celulose**

A celulose, principal componente da biomassa, é o polímero mais abundante da Terra. Este é formado por uma cadeia linear de moléculas de glicose ligadas entre si na posição beta-1,4. Tais ligações guardam energia livre e podem ser quebradas para liberar açúcares fermentáveis (BUCKERIDGE et al., 2008).

A quantidade de celulose presente na cana, assim como o conteúdo de fibras varia de acordo com as diferentes localidades de cultivo, variedades utilizadas, condições de crescimento e condições fisiológicas (CASAGRANDE, 1991).

Tecnologicamente, esta molécula não influencia negativamente no processo de fabricação do açúcar, uma vez que apresenta característica de ser insolúvel no caldo de cana, resultando na total eliminação através do processo de defecação simples (HONIG, 1969). No processo industrial, esta fica praticamente toda retida no bagaço e bagacilhos, sendo pouca quantidade extraída junto ao caldo (DELGADO & CÉSAR, 1977).



Atualmente, há diversos estudos que buscam converter a celulose em moléculas de glicose, sendo posteriormente disponibilizada para leveduras, para que possam ser fermentadas e produzirem etanol (FUGITA, 2011; ROVIERO et al., 2012). Entretanto, há grande dificuldade em se realizar a conversão de celulose em glicose, pois este processo necessita de elevada energia (temperatura e pressão) e grandes quantidade de ácidos (BUCKERIDGE et al., 2008).

#### **4.3.1.5.2 Hemicelulose**

Seis a oito moléculas de celulose se alinham paralelamente para formar uma fibra onde ocorre a completa expulsão das moléculas de água, tornando a microfibrila extremamente longa e resistente. Sobre a superfície das microfibrilas, aderem-se as hemiceluloses (polímeros heterogêneos que são classificados de acordo com a composição em monossacarídeos) que cobrem a celulose formando o chamado domínio celulose-hemicelulose da parede celular. As hemiceluloses impedem que as moléculas de celulose de fibras paralelas colapsem entre si, mas também permitem a interação fraca entre uma fibra e outra, formando uma rede (BUCKERIDGE et al., 2008).

A hemicelulose é constituída por 92,5% de xilose, 3,7% de arabinose e 4,96% de glucurânio. Na cana-de-açúcar ela apresenta-se em 5,49% do total de compostos da folha, 3,04% do colmo, 7,04% da raiz, 26,26% da panícula e, ainda, 22-30% do bagaço resultante do processamento industrial (HONIG, 1969).

No processo industrial, grande parte da hemicelulose fica retida no bagaço, entretanto no processo de defecação simples, o aquecimento e a elevação de pH a 7,0, propiciam parcial hidrólise da hemicelulose, removendo arabinose e glucurânio, os quais apresentam características melassigênica (HONIG, 1969).

#### **4.3.1.5.3 Lignina**

A lignina está, na maioria das vezes, associadas a hemicelulose e acompanhando a celulose nas estruturas das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004). É um

composto pouco solúvel no caldo, ficando praticamente todo retido no bagaço, entretanto os produtos de sua hidrólise podem se dispersar de forma coloidal, interferindo nos processos de clarificação e cristalização da sacarose (ALBUQUERQUE, 2011).

#### **4.3.1.5.4 Pectina**

A pectina é composta basicamente por uma grande cadeia de polímeros de ácido galacturônico (HONIG, 1969). Uma das principais características da pectina é a formação de gel nas soluções açucaradas, principalmente na presença de íons de cálcio. Vestígios deste composto nos xaropes e melaços podem aumentar a viscosidade o suficiente para interferir no processo de cristalização (ALBUQUERQUE, 2011), aumentando a solubilidade da sacarose (DELGADO & CESAR, 1977).

São extraídos dos bagacilhos (em suspensão) para o caldo em processo de alcalinização a pH neutro, sendo pH próximo a 9,0, ocorre precipitação desta molécula na forma de pectato de cálcio (DELGADO & CESAR, 1977).

#### **4.3.1.6 Taninos e Pigmentos**

O tanino presente na cana-de-açúcar é um composto fenólico derivado da d-catequina (HONIG, 1969). Tais moléculas quando submetidos a ação de uma enzima oxidase e a ação de íons de ferro, oxida-se formando um composto de cor escura, que pode ficar retido no cristal, aumentando a cor do mesmo (GODSHAL, 1999; SIMIONI et al, 2006; SANTOS, 2008) e, ao mesmo tempo, desqualificando e desvalorizando o produto (OLIVEIRA, 2007).

Além do tanino, existem diversas substâncias no caldo que possuem coloração, as quais se classificam em quatro tipos principais: clorofila, xantofila, caroteno e antocianina (ROUPA & ASSOKAN, 2008). Este material representa 17% dos 1% de não-açúcares presentes na cana (HONIG, 1969).

A clorofila é o pigmento verde da planta, responsável por assimilar energia na forma de luz, contribuindo significativamente para a fotossíntese, as quais

estão armazenadas nos cloroplastídeos das plantas. Forma uma massa suave; insolúvel em água e soluções açucaradas, mas solúvel em álcool, éter e outras substâncias; sendo de natureza coloidal (TAIZ e ZEIGER, 2004). Tais características permitem que a clorofila seja eliminada no processo de clarificação do caldo (HONIG, 1969; FAVERO, 2011).

A xantofila e o caroteno estão estritamente associados a clorofila, entretanto apresenta pigmentação amarela (TAIZ e ZEIGER, 2004). Assim como a clorofila são insolúveis em água e em soluções açucaradas (ALBUQUERQUE, 2011).

A antocianina é um composto que contribui para a coloração do caldo (FAVERO, 2011). Por ser solúvel em água, incorpora no caldo extraído das moendas. Após o tratamento de caldo, com a adição de cal, resulta em cor verde escuro, entretanto não precipita, exceto em soluções fortemente alcalinas (HONIG, 1969).

Esta pertence ao grupo de polifenóis, e que ao se combinar com os sais de ferro adquirem coloração escura (ALBUQUERQUE, 2011). Enquanto o processo de carbonatação separa completamente a antocianina do caldo (HONIG, 1969; FAVERO, 2011), a sulfitação apresenta remoção parcial, uma vez que o ácido sulfuroso apresenta ação descolorante temporária (ALBUQUERQUE, 2011; HONIG, 1969).

Atualmente a variedade de cana mais plantada no Nordeste do Brasil, RB92579, é caracterizada por apresentar elevado teor de antocianina no caldo, o que resulta em elevada cor do açúcar, fato o qual desclassifica o produto, diminuindo seu valor final (OLIVEIRA et al., 2011; MISSIMA et al., 2012).

A via de regra, o tratamento de caldo por defecação simples não elimina os compostos fenólicos presentes (ALBUQUERQUE, 2011), entretanto Costa (2010) observou redução de até 70% do teor de tais biomoléculas após a clarificação do caldo.

#### **4.3.1.7 Ceras e Lipídios**

Estes compostos na cana-de-açúcar estão presentes, em maior quantidade, na casca e na região do colmo. São responsáveis pela proteção das superfícies expostas da cana-de-açúcar, além de diminuir a perda de água por transpiração. As quantidades variam de acordo com a variedade cultivada, entretanto

sabe-se que canas mais velhas (9-24 meses) apresentam menos teor destas moléculas, devido a remoção por chuvas fortes (HONIG, 1969).

No processo de extração do caldo por moendas, estima-se que 40% dos lipídeos sejam dissolvidos junto ao caldo, enquanto 60% permanecem no bagaço. O tratamento de caldo por defecação simples pode remover até 90% destes compostos, os quais são removidos junto a torta-de-filtro (HONIG, 1969). Por serem de baixa densidade, as ceras e gorduras podem acumular na parte superior do decantador na forma espuma (HAMERSKI, 2009; FAVERO, 2011).

As ceras e lipídios são constituintes indesejáveis no caldo, pois, caso não eliminados na clarificação, interferem na fabricação do açúcar, diminuindo a filtrabilidade deste produto (ALBUQUERQUE, 2011).

#### **4.3.2 Compostos Inorgânicos**

Os compostos inorgânicos representa, aproximadamente, 1% de toda a cana-de-açúcar. Estes são os nutrientes presentes no solo absorvidos pela planta, os quais são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento da mesma, sendo que a quantidade dos mesmos varia de acordo com a variedade e do local onde a cana é cultivada (ALEXANDER, 1973).

Embora esteja presente no caldo em baixa quantidade, os compostos inorgânicos influenciam significativamente sobre os processos industriais, podendo resultar em açúcar de pior qualidade. Desta maneira, a separação de tais compostos no processo de clarificação é de grande importância (CHEN & CHOU, 1991).

Os êxitos e os fracassos do tratamento de caldo estão relacionados, na maioria dos casos, com a quantidade de não açúcares inorgânicos, assim como as características de sedimentação de cada composto presentes no material (DELGADO & CESAR, 1977).

Embora a quantidade destes elementos variam de acordo com a matéria-prima utilizada, há predominância dos alcáis óxido de potássio ( $K_2O$ ) e óxido de sódio ( $Na_2O$ ) no caldo de cana, sendo que ambos sempre estão presentes na forma iônica. Deve-se ressaltar ainda, que os alcáis representam de 50-70% do total de cátions

dissolvidos no caldo. Os ânions são constituídos pelos ácidos orgânicos (HONIG, 1969).

Além dos compostos já citados, encontra-se ainda, no caldo de cana, os cátions óxido de magnésio (MgO), óxido de cálcio (CaO), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); além dos ânions cloro, sulfito e fosfato. Tais moléculas apresentam diferentes comportamentos quando submetidos ao tratamento de caldo, fato representado pela tabela 2 (HONIG, 1969).

Analisando a figura 3, observa-se que o tratamento de caldo não elimina o potássio e o sódio presentes na solução. Tais elementos somente são eliminados quando utilizado sistemas de separação iônico (HONIG, 1969). Tais elementos são prejudiciais aos processos seguintes de produção de açúcar, pois aumentam a solubilidade da sacarose, resultando em maior formação de méis. Ao mesmo tempo, podem ficar retidos nos cristais, aumentando o teor de cinzas do mesmo e, conseqüentemente, reduzindo o valor do produto (ALBUQUERQUE, 2011). O potássio ainda pode reagir com compostos orgânicos, formando elementos com característica espumosa (HONIG, 1969).

O cálcio e o magnésio apresentam comportamentos variáveis no tratamento de caldo, fato associado ao tipo de coagulante empregado: óxido de cálcio ou óxido de magnésio. Ambos compostos podem não ser removidos do caldo e permanecerem no material clarificado, podendo, em alguns casos, ocorrer aumento de até 200% na concentração de tais elementos. Quando removidos, precipitam como silicatos, oxalatos, aconitatos, fosfatos e sulfitos. Assim como o potássio e o sódio, podem ficar retidos no cristal de açúcar, entretanto também são precursores de incrustações em evaporadores (DELGADO & CESAR, 1977).

O ferro e o alumínio são compostos que são significativamente eliminados no processo de clarificação do caldo de cana. Ambos também influenciam negativamente na qualidade do açúcar produzindo (ALBUQUERQUE, 2011), sendo o primeiro caracterizado por ser precursor de cor por reagir com compostos fenólicos (GODSHALL, 1999) e o segundo por aumentar o teor de cinzas do açúcar produzido (DELGADO & CESAR, 1977). A concentração destes elementos no caldo de cana pode

aumentar dependendo do equipamento utilizado no processo industrial, assim como o estado de conservação dos mesmos (HONIG, 1969).

O cloro, presente na concentração de 15 a 30mg/100mL no caldo de cana, não é removido pelo processo de clarificação (DELGADO & CESAR, 1977). Entretanto sua presença não influencia negativamente no processo industrial, pois além de ser um antimicrobiano, tal elemento aumenta o sabor "doce" do açúcar produzido (HONIG, 1969).

**Tabela 2** - Comportamento dos compostos inorgânicos no caldo de cana, submetidos a extração por moenda, e no caldo clarificado.

|                                | Caldo Original (Extração com moenda)  | Caldo Clarificado                            |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Cátions</b>                 |                                       |  |
| K <sub>2</sub> O               | Extraído com o caldo                  | Não removido                                 |
| Na <sub>2</sub> O              | Grande parte retida no bagaço         | Não removido                                 |
| MgO                            | Extraído de 80-90%                    | Aumenta se for utilizado MgO como coagulante |
| CaO                            | Extraído de 75-85%                    | Aumenta se for utilizado CaO como coagulante |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Extraído de 50-70%                    | Removido de 50-90%                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Extraído de 40-60%                    | Removido de 70-95%                           |
| <b>Ânions</b>                  |                                       |  |
| Cl                             | Extraído no mesmo grau que a sacarose | Não removido                                 |
| SO <sub>3</sub>                | Extraído de 75-85%                    | Não removido                                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | Extraído de 75-85%                    | Coagula com o cálcio ou magnésio             |

Fonte: Honig, 1969

O enxofre, presente na concentração de 300 a 500mg/L no caldo de cana, assim como o cloro não é removido pelo processo de clarificação. Entretanto, no caldo há dois tipos de enxofre presentes, o orgânico e o inorgânico. Enquanto o primeiro apresenta baixas concentrações (menor que 5mg/L), o segundo esta presente em grande quantidade. No processo industrial tal elemento é caracterizado por apresentar efeitos benéficos a produção de açúcar, fato este que proporcionou a adição de enxofre como agente coagulante. Este retarda a reação entre açúcares redutores e

aminoácidos, elimina significativamente os íons de ferro e alumínio, assim como o ácido silícico presente, aumentando a filtrabilidade da torta (HONIG, 1969).

O composto mais importante para a tecnologia açucareira é o fósforo, o qual apresenta concentração de 70 a 400mg/L no caldo de cana. Este elemento é o responsável por reagir com o cálcio e formar flocos que sedimentam no decantador, removendo grande parte das impurezas presentes (DOHERTY, 2011). Para uma clarificação industrialmente aceitável, recomenda-se teores próximos a 300mg/L de fósforo, sendo que concentrações superiores podem resultar em lodos muito volumosos e de baixa densidade, lenta sedimentação dos flocos e sobrecarga dos filtros; e concentrações inferiores podem originar caldos clarificados escuros, pequeno volume de lodo, menor remoção de cálcio e lodos não compactos. Nas condições consideradas ideais, há remoção de 80 a 90% de fosfatos do caldo (CHEN & CHOU, 1991).

## 5. CONCLUSÃO

A partir das informações disponíveis na literatura, foi possível concluir que:

- O caldo de cana é um material complexo, o qual contém diferentes tipos de carboidratos, proteínas, ácidos, lipídios e sais inorgânicos;
- Os compostos presentes no caldo de cana apresentam diferentes comportamentos quando submetidos ao processo industrial, podendo ser benéficos ou maléficos a qualidade do açúcar produzido;
- O tratamento de caldo de cana é influenciado diretamente pelos compostos orgânicos e inorgânicos nele presentes, sendo que os mesmos podem resultar em maior ou menor volume/densidade de lodo, velocidade de sedimentação dos flocos e turbidez do caldo clarificado;
- Alguns compostos não removidos no processo de clarificação do caldo podem resultar em incrustação e corrosão dos equipamentos da indústria.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 3. ed. Recife:Editora Universitária UFPE, 2011.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology :a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system**. New York: Elsevier Scientific. Amsterdam, 1973. 752 p.

AMORIM, H.V. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005. 434p.

ANNUNZIO, F. R. de; MARQUES, K. M.; MATTIUZ, B.; MADALENO, L. L. Comparação entre o método ICUMSA e colorimétrico para medição da cor do açúcar. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba-SP, vol. 30, n. 4, 2012.

BUCKERIDGE, M.S., SILVA, G.B. & CAVALARI, A. A. Parede Celular. *In*: Kerbauy, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro:Guanabara Koogan, 2008. p. 165-181.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal:FUNEP, 1991. 157p.

CHEN, J. C. P.; CHOU, C.C. **A manual for cane sugar manufactures and their chemists**. 12. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993. 1090 p.

CLARKE, M. A.; LEGENDRE, B. R. Qualidade de cana-de-açúcar: impactos no rendimento do açúcar e fatores de qualidade. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba-SP, v.17, n.6, p.36-40, 1999.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **3º Levantamento Cana-de-Açúcar Safra 2012/2013**. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_12\\_12\\_10\\_34\\_43\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_12\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf)>. Acesso em: dezembro de 2012.

COSTA, G.H.G. **Cana Bisada na Qualidade da Matéria-Prima e na Produção de Açúcar**. 2010, 56 f. Trabalho de Graduação - Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Jaboticabal, 2010.

DELGADO, A. A., CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. v. 2. Sertãozinho: Zanini, 1977. 752 p.

DEUBER R. Florescimento e maturação da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., 1987. **Anais...** p. 585-593.

DOHERTY, W.O.S. Improved Sugar Cane Juice Clarification by Understanding Calcium Oxide-Phosphate-Sucrose Systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 59, pag. 1829-1836, 2011.

FAVERO, D. M. **Clarificação do caldo de cana-de-açúcar pelo processo de carbonatação**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

FUGITA, T.P.L. **Desempenho de leveduras que metabolizam Xilose para produção de etanol em hidrolisado Hemicelulósico de bagaço de cana**. 2011. 70 f. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrária e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

GODSHALL, M. A. Removal of colorants and polysaccharides and the quality of white sugar. In: ASSOCIATION A.V.H. 6º SYMPOSIUM, 1999, Reims. p .28-35.

HAMERSKI, F. **Estudos de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 149 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HONIG, P. **Princípios de Tecnologia Azucareira**. vol. 1. Mexico:Companhia Editorial Continental,1969.

HUGOT, E. **Manual da engenharia açucareira**. São Paulo:Editora Mestre Jou, 1969.

1184 p.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2000. 839 p.

OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA JUNIOR, J.F. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, n. 27, pag. 99-102, 2007.

OLIVEIRA, M.W.; BRIGHENTE, I.M.C.; COLLA, G.; ARISTIDES, E.V.S.; PEREIRA, M.G. Fenóis e flavonóides no colmo e na casca de três variedades de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011. **Anais...** São Luís - MA, 2011.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; JUNIOR, L. C. T. **Tecnologia do açúcar: Produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 170 p.

MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2008. 319 p.

MISSIMA, J.D.; MUTTON, M.J.R.; COSTA, G.H.G.; SANTOS, R.F.S.; MONTIJO, N.A. Características tecnológicas de duas cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 24, 2012. **Anais...** Jaboticabal-SP, 2012.

MUTTON, M. J. R. Reflexos da qualidade da matéria-prima sobre a fermentação etanólica. In: WORKSHOP SOBRE “PRODUÇÃO DE ETANOL: QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA”. Lorena, 2008.

NAZATO, C.; SILVA, D. F. C.; FERRAZ, S. C. U.; HARDER, M. N. C. Moenda X Difusor: diferentes pontos de vista sobre o assunto. **Bioenergia em Revista: Diálogo**. Piracicaba-SP, 2012.

RAVANELI, G.C.; MADALENO, L.L.; PRESOTTI, L.E.; MUTTON, M.A.; MUTON, M.J.R. Spittlebug infestation in sugarcane affects ethanolic fermentation. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, vol. 63, n. 6, 2006.

REIN, P. **Cane Sugar Engineering**. 2. ed. Berlin:Bartens, 2011. 768 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2009. 333 p.

ROUPA, T.R.; ASOKAN, S. Effect of rind pigments and juice colorants on juice claribility, settling time and mud volume of sugarcane. **Sugar Tech**, n. 2, pag. 109-113, 2008.

ROVIERO, J.P.; JOCARELLI, L.C.A.; MUTTON, M.J.R. Avaliação do processo de destoxificação do hidrolisado de ponta e palha de cana-de-açúcar. In: Semana de Tecnologia da Fatec, 4, 2012. **Anais...** Jaboticabal, 2012.

SANTOS, F. A. **Análise de trilha dos principais constituintes orgânicos e inorgânicos sobre a cor do caldo em cultivares de cana-de-açúcar.** 2008. 62 f. Tese (pós-graduação). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar.** Piracicaba:ESALQ/USP, 2006. 415 p.

SIMIONI, K. R.; SILVA, L. F. L. F.; BARBOSA, V.; RÉ, F.E.; BERNADINO, C. P.; LOPES, M. L.; AMORIM, H. V.; Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba-SP, v. 24, n. 3, p. 36-39, 2006.

STUPIELLO, J. P. Relação Açúcares Redutores/Cinzas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba-SP, vol.19, n. 2, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3.ed. Porto Alegre:Artmed, 2004. 719 p.

UMEBARA, T. **Microfiltração de caldo de cana: caracterização do caldo permeado e retentado.** 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.