

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMPREGO DO EXTRATO DE MORINGA (*Moringa oleífera*
Lamarck) NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA
PRODUÇÃO DE AÇÚCAR**

Gustavo Henrique Gravatim Costa

Tecnólogo em Biocombustíveis

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMPREGO DO EXTRATO DE MORINGA (*Moringa oleífera*
Lamarck) NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA
PRODUÇÃO DE AÇÚCAR**

Gustavo Henrique Gravatim Costa

Orientador: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Microbiologia Agropecuária

2013

Costa, Gustavo Henrique Gravatim
C837e Emprego do extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lamarck) na
clarificação do caldo de cana para produção de açúcar / Gustavo
Henrique Gravatim Costa. – – Jaboticabal, 2013
xi, 115 p.; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton
Banca examinadora: José Paulo Stupiello, Maria Teresa Mendes
Ribeiro Borges
Bibliografia

1. Defecação Simples. 2. Cristalização. 3. Qualidade. 4. Dosagens.
5. Polieletrólito. 6. Nutrientes. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 664.1.038

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

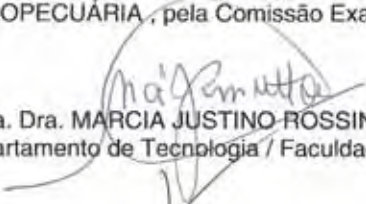
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

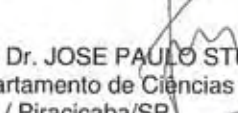
TÍTULO: EMPREGO DO EXTRATO DE MORINGA (*Moringa oleifera* Lamarck)
NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

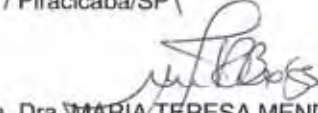
AUTOR: GUSTAVO HENRIQUE GRAVATIM COSTA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM MICROBIOLOGIA
AGROPECUÁRIA, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE PAULO STUPIELLO
Departamento de Ciências Tecnologia Rural / Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz -
USP / Piracicaba/SP


Profa. Dra. MARIA TERESA MENDES RIBEIRO BORGES
Departamento de Tecnologia Agro-Industrial e Sócio-Economia Rural / Universidade Federal de
São Carlos / Araras/SP

Data da realização: 21 de fevereiro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

GUSTAVO HENRIQUE GRAVATIM COSTA - nasceu aos 20 de agosto de 1990, na cidade de Garça, estado de São Paulo. Em Janeiro de 2008 ingresso no curso de Tecnologia em Biocombustíveis na Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, recebendo o título de Tecnólogo em Biocombustíveis em Dezembro de 2010. A partir de julho de 2008 passou a integrar os grupos de pesquisa “Processos Biotecnológicos aplicados à Agroindústria” e “Fisiologia e Manejo Sustentável da cana-de-açúcar”, participando de diversos projetos. Ingressou no curso de pós-graduação *Lato sensu* (Master Technology Administration) em Gestão de Tecnologia Industrial Sucroenergética pela Universidade Estadual de São Carlos em março de 2011, concluindo em março de 2013. Em março de 2011 ingressou no programa de Pós-Graduação em Microbiologia (Microbiologia Agropecuária), em nível de mestrado da FCAV - UNESP, obtendo o título de Mestre em fevereiro de 2013.

Aos meus pais Carlos Alberto Costa e Vera Lúcia Gravatim Costa, pelo amor, paciência, confiança e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Profa. Márcia Justino Rossini Mutton e ao Prof. Miguel Angelo Mutton pela oportunidade, confiança e ensinamentos ao longo do período da obtenção deste título.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e aos professores do curso de pós-graduação pelo aperfeiçoamento profissional.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Usina São Martinho S/A e a Usina Santa Adélia S/A pela colaboração em fornecer cana-de-açúcar para a elaboração deste experimento.

A José Roberto Sacco, Maria Lúcia Postai Sacco e Laís Postai Sacco pelo apoio, carinho e confiança ao longo desses anos.

Ao grande amigo Sérgio Luís Nobukuni pelos momentos de alegria e ajuda prestada todos esses anos no laboratório.

A todos do laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, nas pessoas de: Igor Lidyane, Juliana Roviero, Osania, Nayara Montijo, Aline, Rita, Juliana Stracieri, Alysson, Bruno, Fernanda, Rossato, Larissa, Jorge, Marcelo, Nayara Silvano, Vitor, Juliana Costa, Rodolfo, Priscila, Lisamaria, Cristhyane.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	X
ABSTRACT	Xi
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	12
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Cana-de-açúcar e parâmetros de qualidade.....	14
3.2 Clarificação do caldo de cana.....	16
3.2.1 Química da Clarificação.....	19
3.2.1.1 Compostos Orgânicos.....	20
3.2.1.2 Compostos Inorgânicos.....	28
3.3 Cristalização da sacarose.....	31
3.4 Critérios de qualidade do açúcar.....	34
3.5 <i>Moringa oleífera</i> Lam.	38
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
CAPÍTULO 2 - DIFERENTES DOSAGENS DE EXTRATO DE FOLHAS E SEMENTES DE <i>Moringa oleífera</i> Lam. NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
3.1 Caracterização dos Extratos.....	55
3.2 Análise do Caldo de Cana Clarificado.....	56
4. CONCLUSÃO	61
5. REFERÊNCIAS	61
CAPÍTULO 3 - EXTRATO DE FOLHAS DE <i>Moringa oleífera</i> Lam. COMO CLARIFICANTE DO CALDO DE CANA	66

RESUMO.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	67
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
4. REFERÊNCIAS.....	75
CAPÍTULO 4 - QUALIDADE DO AÇÚCAR VHP PRODUZIDO A PARTIR DE CLARIFICAÇÃO COM <i>Moringa oleífera</i> Lam.	86
RESUMO.....	86
1. INTRODUÇÃO.....	87
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	88
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	90
4. CONCLUSÃO.....	95
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
CAPÍTULO 5 - COMPOSTOS INORGÂNICOS DO CALDO E DO AÇÚCAR VHP PRODUZIDO A PARTIR DE CLARIFICAÇÃO COM MORINGA (<i>Moringa oleífera</i> Lam.)	98
RESUMO.....	98
1. INTRODUÇÃO.....	99
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	101
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	103
4. CONCLUSÃO.....	109
5. REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE.....	112

EMPREGO DO EXTRATO DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lamarck) NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

RESUMO - Devido a crescente demanda mundial e rigorosas especificações exigidas pelo mercado para o açúcar, as unidades produtoras investem em inovações e tecnologias de produção, afim de reduzir custos e aprimorar a qualidade deste produto. Entre as possíveis inovações industriais, destaca-se o tratamento do caldo. Tal processo visa remover ao máximo os compostos considerados impurezas para a fabricação de açúcar, como compostos fenólicos, proteínas, sais inorgânicos, aminoácidos, ácidos, entre outros; permanecendo no caldo clarificado apenas sacarose. A remoção de tais elementos é realizada através de reações químicas de produtos adicionados com fosfatos presentes no caldo, os quais formam flocos e precipitam. A fim de aumentar a velocidade de sedimentação, são utilizados polieletrólitos sintéticos, que unem tais compostos, agregando peso e tamanho. Neste contexto, a utilização de produtos originados de plantas para substituição deste insumo, pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a unidade de produção, consolidando a marca de sustentabilidade que o setor exige atualmente. Entre tais biomoléculas, destacam-se os extratos de moringa (*Moringa oleífera* Lam.), a qual é amplamente utilizada para sedimentação de impurezas em água para consumo doméstico. Desta maneira, o objetivo do presente estudo foi avaliar os reflexos do emprego de extratos de folhas e sementes de moringa, como auxiliares de sedimentação na clarificação do caldo de cana, na qualidade do caldo clarificado, açúcar VHP produzido e mel resultante. Primeiramente realizou-se o preparo e caracterização dos diferentes extratos, seguido pelo teste de concentração mínima a ser aplicado no caldo de cana, afim de acelerar a velocidade de sedimentação dos flocos formados. A partir destes resultados, foram utilizados os seguintes tratamentos: extrato de folhas (5 mg/L) e sementes (100 mg/L) de moringa, polieletrólito sintético Flomex 9076 (1,5 mg/L) e tratamento testemunha, todos aplicados no decantador previamente a adição do caldo tratado e aquecido. Após clarificação, o mesmo foi concentrado a 60° brix e submetido a processo de cozimento em cozedor piloto. O açúcar e o mel foram obtidos a partir da centrifugação da massa cozida. Avaliou-se as características químico-tecnológicas do caldo original, clarificado, xarope, açúcar e mel produzido, além das características microbiológicas do caldo original, clarificado e do açúcar. Além dos diferentes flocculantes, foram utilizados caldos provenientes de duas variedades de cana-de-açúcar: RB92579 e RB867515. Concluiu-se que o extrato de folhas de moringa resultou em caldo clarificado, açúcar VHP e mel final de melhor qualidade.

Palavras-chave: defecação simples, cristalização, qualidade, dosagens, polieletrólito, nutrientes

EXTRACT OF MORINGA (*Moringa oleifera* Lamarck) IN SUGARCANE JUICE CLARIFICATION FOR SUGAR PRODUCTION

ABSTRACT - Due to growing global demand and stringent specifications required by the market for sugar, the mills invest in innovation and production technologies in order to reduce costs and improve the quality of this product. Possible industrial innovations, highlight the juice treatment. This process aims to remove most of the compounds considered impurities for the manufacture of sugar, such as phenolic compounds, proteins, inorganic salts, amino acids, etc.; remaining in the clarified juice only sucrose. The removal of such components is accomplished via chemical reaction between added products and phosphates present in the juice. This reaction results in flocs that precipitates. In order to increase the speed of sedimentation, synthetic polyelectrolytes are used, such compounds that bind, adding weight and size. In this context, the use of products derived from plants to replace this input, can bring economic and environmental benefits to the production unit, consolidating the brand sustainability of the industry now demands. Among these biomolecules stand out extracts of moringa (*Moringa oleifera* Lam), which is widely used for sedimentation of impurities in water for domestic consumption. Thus, the objective of this study was to evaluate the consequences of the use of extracts of leaves and seeds of Moringa as aids in sedimentation clarification of sugarcane juice, the quality of the clarified juice, sugar and honey produced resulting VHP. First held preparation and characterization of the different extracts, followed by concentration tests to be applied in minimum sugarcane juice in order to accelerate the rate of sedimentation of the flocs formed. From these results, we used the following treatments: leaf extract (5 mg/L) and seed (100 mg/L) of moringa, synthetic polyelectrolyte Flomex 9076 (1,5 mg/L) and control treatment, all applied in decanter prior to adding the broth treated and heated. After clarification, it was concentrated at 60 ° brix and subjected to the cooking process in pilot cooker. The sugar and honey were obtained from centrifuging the massecuite. We evaluated the characteristics of chemical-technological original broth, clarified, syrup, sugar and honey produced, and microbiological characteristics of the original broth, sugar and clarified. Besides the different flocculants were used broths from two varieties of cane sugar: RB867515 and RB92579. It was concluded that the extract of moringa leaves resulted in clarified juice, sugar and honey VHP end of better quality.

Keywords: simple defecation, crystallization, quality, dosages, polyelectrolyte, nutrients

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, com previsão de processamento para a safra 2012/2013 de 595 milhões de toneladas, aumento de 6,2% em relação à anterior, sendo a região Centro-Sul a maior responsável por tal expansão da cultura (CONAB, 2012).

Este aumento de produção da cana-de-açúcar ocorre devido às crescentes demandas pelos produtos industrializados desta cultura, como por exemplo, o açúcar, o qual apresenta os maiores preços em 30 anos no mercado internacional (1,25 U\$S por libra), devido às consecutivas adversidades climáticas na Índia e no Brasil que resultaram em baixa produção agrícola; além de novos contratos para exportação deste produto para a China, país o qual se tornará o maior importador de açúcar do Brasil nos próximos anos (DATAGRO, 2011).

O mercado de açúcar é muito favorável ao Brasil, o qual apresenta grande produção, fato que posiciona o país como o principal produtor e exportador mundial deste produto (ILLOVO, 2011).

Este mercado está em contínuo crescimento, desta forma o aprimoramento e aperfeiçoamento de tecnologias para o processo de produção e industrialização da cana-de-açúcar devem seguir o mesmo padrão, a fim de diminuir custos e tornar cada vez mais sustentável o setor.

Entre as tecnologias industriais passíveis de estudos e aperfeiçoamentos, destaca-se o tratamento químico do caldo de cana, o qual visa remover impurezas que afetam a qualidade do açúcar produzido. Para a fábrica de açúcar, considera-se impurezas todos compostos não sacarose, desta forma, o tratamento de caldo deve remover ao máximo as quantidades de terra, compostos fenólicos, ácidos, aminoácidos, proteínas, corantes entre outros elementos presentes na matéria-prima (HONIG, 1969). Embora tais produtos não sejam maléficos a saúde humana e sim benéficos, eles agregam cor ao produto, característica rejeitada pelo cliente, que prefere o açúcar mais branco possível.

Atualmente, as indústrias sucroenergéticas do Brasil utilizam, basicamente, dois tipos de tratamento de caldo, a defecação simples e a sulfodefecação. A defecação simples consiste em elevar o pH do caldo até 7,0 através da adição de hidróxido de cálcio, elemento que irá reagir com os fosfatos presentes na matéria-prima e formar compostos insolúveis, que são removidos por precipitação. Este processo origina o açúcar VHP (Very High Purity), o qual é exportado como matéria-prima para refinarias (ALBUQUERQUE, 2011).

A sulfodefecação é o tratamento o qual adiciona-se, primeiramente, enxofre no caldo na forma de sulfito até pH 4,0-4,5, sendo, posteriormente, neutralizado com a adição de hidróxido de cálcio. A reação entre o enxofre e o cálcio resulta no sulfato de cálcio, o qual é insolúvel e também precipita. O enxofre apresenta como principal característica a de se ligar a compostos com radicais livres, diminuindo a reatividade dos mesmos e produzindo açúcar denominado cristal branco (CHEN; CHOU, 1993).

Nos dois processos citados, a precipitação das impurezas ocorre em um decantador. A fim de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, é adicionado ao caldo polieletrólitos catiônicos ou aniônicos. Tais moléculas caracterizam-se por unir pequenos coágulos, formados da reação entre o cálcio e o fósforo/enxofre, em um único floco de tamanho e peso maior o qual, por gravidade, irá sedimentar rapidamente (REIN, 2012).

Embora os dois tratamentos apresentem bons resultados, atualmente as exigências dos clientes estão mais rigorosas, os quais não adquirem apenas o produto pela cor que este possui, mas sim por outros elementos que possam ser prejudiciais a saúde humana, como é o caso do enxofre (SILTON, 2012).

Outros compostos adicionados ao caldo na obtenção do açúcar, são os polieletrólitos de origem sintética como auxiliares de sedimentação de impurezas, os quais são produzidos a partir de acrilamidas originando a poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas. Tais elementos caracterizam-se por serem carcinogênicos, fato o qual levou alguns países a limitarem a utilização destes produtos, como por exemplo os Estados Unidos que regulamentam adição máxima de 5 mg/kg de caldo (PAYNE, 1989; GPO, 2012).

Neste contexto, a utilização de produtos originados de fontes naturais apresentam-se como alternativas viáveis aos processos utilizados atualmente. Tais

compostos além de atenderem as exigências atuais do mercado, também podem elevar o preço final do açúcar, consolidando as marcas de sustentabilidade e orgânica adotadas pelo setor.

Entre os produtos naturais estudados, destacam-se os extraídos de plantas como, por exemplo, *Hibiscus ficulneus*, *Hibiscus esculentus*, *Cadia celsina*, *Bombax malabaricum*, *Grewia asiatica*, *Arachis hypogea*, *Recinus communis*, *Aloe vera* e *Moringa oleifera* Lam (KHANDAGAVE; THANGAMUTHU, 2010).

Atualmente, o extrato de sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam) é amplamente utilizados como floculante no tratamento de água para o consumo humano (SANCHÉZ-MARTÍN; BELTRÁN-HEREDIA; PERES, 2012), entretanto há estudos que demonstram a eficácia de tal produto no tratamento de água para irrigação, por eliminar ovos de helmintos (SENGUPTA et al, 2012). Outro potencial mercado para a aplicação deste produto é nas etapas de produção de biodiesel a partir de algas, onde o extrato de moringa é capaz de separar as algas da água sem necessidade de centrífugas (TEIXEIRA; KIRSTEN; TEIXEIRA, 2012).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do extrato de folhas e sementes de *Moringa oleífera* Lam. como auxiliares de sedimentação no tratamento do caldo de cana por defecação simples, e seus reflexos na qualidade do açúcar VHP produzido.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cana-de-açúcar e parâmetros de qualidade

A cana-de-açúcar é originária do sul e sudeste asiático. Com as invasões mulçumanas iniciadas no século VI, esta cultura se difundiu por vários países do continente europeu, os quais, posteriormente, a distribuíam para os continentes americanos e africano (SEGATO et al, 2006).

Esta é uma planta herbácea de porte elevado da família Poaceae. Atualmente é cultivada em países tropicais e subtropicais, sendo as plantas cultivadas são híbridos derivados, principalmente, da *Saccharum officinarum*, *Saccharum robustum*, *Saccharum barbieri*, *Saccharum spontaneum* e *Saccharum sinensis* (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Esta se propaga através do plantio de sementes (sexuado) ou partes de seus caules (assexuado). O segundo método proporciona a esta cultura vários cortes de um mesmo plantio, fato o qual resulta na viabilidade de se cultivar comercialmente tal matéria-prima (DINARDO-MIRANDA; VANSCONCELOS e LANDELL, 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, K₂O, CaO, MgO, entre outros) (SEGATO et al., 2006).

A matéria-prima que apresenta baixo teor de açúcares e alto teor de não-açúcares e de fibras, reduz a velocidade de processamento na indústria, e conseqüentemente, reduz a quantidade e qualidade dos produtos finais (CLARKE; LEGENDRE, 1999; RIPOLI; RIPOLI, 2009).

A cana-de-açúcar deve atender a uma conjunção de parâmetros tecnológicos e microbiológicos que definam a sua qualidade e tenham influência fundamental no seu processamento. Os principais fatores de qualidade são cultivar da cana, meio ambiente, pragas, doenças e planejamento agrícola, este incluindo a maturação e o manejo da colheita (STUPIELLO, 1992).

Os efeitos qualitativos destes fatores isolados ou associados podem aumentar a quantidade de compostos fenólicos, os quais aumentam a cor do caldo extraído e conseqüentemente a do açúcar produzido (MADALENO, 2010), além de serem inibidores da levedura no processo de fermentação (RAVANELLI et al., 2011).

Deve-se considerar ainda a presença de polissacarídeos produzidos por bactérias, as quais contribuem, assim como o amido, para o aumento da viscosidade

do caldo, reduzindo a recuperação de açúcar na fábrica (AMORIM; OLIVEIRA, 1982), além de mascarar resultados obtidos em análises de qualidade do caldo e do açúcar, como, por exemplo, a leitura da Pol (REIN, 2012).

Do ponto de vista industrial, tais fatores ainda são recentes para o setor, uma vez que as metodologias disponíveis são, em alguns casos, de alto custo, onerosa e nem sempre apresentam resultados confiáveis, como por exemplo, a análise de dextrana. Devido a estes motivos, muitas unidades industriais optam por não realizar tais análises, fato que diminui o controle do processo e, em consequência, reduz o rendimento industrial, resultando em menor recuperação de açúcar nos cozedores/tachos e prejuízos para a levedura ao longo do processo fermentativo.

Desta forma o manejo da cultura deve ser realizado da melhor forma possível objetivando reduzir impactos que possam vir interferir negativamente na qualidade da matéria-prima, a fim de gerar lucros tanto para o setor agrícola quanto para o industrial.

3.2. Clarificação do caldo de cana

A matéria-prima para fabricação do açúcar é o caldo de cana, que apresenta em sua constituição água, açúcares e não-açúcares orgânicos e inorgânicos, além de elementos em suspensão como terra e bagacilho. Destes compostos encontrados, apenas a sacarose é de interesse comercial, sendo os demais elementos tidos como impurezas do processo, que afetam negativamente a qualidade do produto final (REIN, 2012).

Desta forma o tratamento de caldo ou clarificação do caldo, é uma etapa imprescindível no processamento da cana, a qual tem como principal objetivo a máxima remoção destas impurezas (EGGLESTON et al., 2002).

Atualmente o tratamento de caldo é realizado, principalmente, através de reações químicas, as quais resultam em coagulação dos coloides presentes, formando precipitado insolúvel que adsorve e arrasta as impurezas (ALBUQUERQUE, 2011).

O principal objetivo da clarificação química do caldo é elevar seu pH a um nível o qual não ocorra inversão de sacarose e, consequentemente, perdas de

açúcar. Os objetivos secundários consistem na remoção de materiais insolúveis e de certas substâncias dissolvidas indesejáveis. O pH ideal do caldo é aquele que resulta num xarope de pH 6,5; valor ideal para conduzir a etapa de cristalização, resultando em massas cozidas de fácil manejo, com pouco desenvolvimento de compostos e cor indesejáveis, pequena decomposição dos açúcares redutores e perda mínima de sacarose por inversão (PAYNE, 1989).

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, 2012).

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 ozonização (ALBUQUERQUE, 2011).

As indústrias brasileiras comumente utilizam a caleagem a frio, o processo consiste na adição de quantidade suficiente de cal, em temperatura ambiente ou com pequeno aquecimento, para neutralizando ácidos orgânicos presentes no caldo. Este procedimento possibilita formação de precipitados mais densos que a solução através da floculação primária com formação de fosfato de cálcio (EGGLESTON et al., 2002). O caldo dosado é submetido ao aquecimento de 100 a 105°C e enviado para o decantador, onde serão obtidas duas frações: caldo clarificado que é conduzido à evaporação e o lodo que é levado aos filtros rotativos para recuperação da sacarose remanescente (DELGADO; CÉSAR, 1977).

A adição de auxiliares de clarificação, tais como fosfatos, bentonitas, polieletrólitos constitui-se em recurso comum empregado nas usinas (HONIG, 1969).

Os polieletrólitos são polímeros sintéticos solúveis em água, de alto peso molecular e com cargas livres (aniônicos ou catiônicos), que se ligam as impurezas presentes no caldo e precipitam em grandes flocos, tornando o caldo mais límpido e sem modificar o pH (ALBUQUERQUE, 2011). Entretanto, tais moléculas são sintetizadas a partir de acrilamidas, resultando num produto de poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas; tais moléculas caracterizam-se pela ação carcinogênica, fato o qual condicionou alguns países a limitar o seu uso na fabricação de açúcar, como os Estados Unidos que limita a, no máximo, 5 mg/Kg de caldo (PAYNE, 1989; GPO, 2012).

A clarificação sem o uso de produtos químicos valoriza o açúcar, economiza energia, além de ser um processo seletivo de operação simples. Os mercados interno e externo cada vez mais exigem alimentos saudáveis, e isentos de agrotóxicos, visando a melhoria da qualidade de vida.

Entre os produtos alternativos ao polieletrólito sintético, destacam-se compostos do tanino polimerizado, os quais apresentam cadeias de ácidos catequínicos e tanatos, que caracterizam-se por reagir com algumas substâncias nitrogenadas e alguns pigmentos presentes no caldo de cana, sem que ocorra aumento significativo de cor (ALBUQUERQUE, 2011).

Atualmente, os flocculantes naturais encontrados no mercado são derivados da planta Acácia Negra (*Acacia decurrens*) como o Tanfloc, Engeorganic e o Biosugar. Tais produtos apresentam como princípio ativo taninos. Oliveira e Finzer (2012) verificaram redução de cor do caldo e acréscimo na quantidade de açúcares redutores totais quando empregou produto Tanfloc como flocculante.

Entretanto, alguns outros polieletrólitos naturais vêm sendo estudados em escala laboratorial, como por exemplo, o extrato de folhas da planta *Hibiscus lunarifolius*, o qual resulta em velocidade de sedimentação de flocos maior do que o polímero sintético, devido a ação da substância mucilagem (albumina) (KHANDAGAVE; THANGAMUTHU, 2010).

3.2.1 Química da Clarificação

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

Segundo Albuquerque (2011), 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_2O , 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.

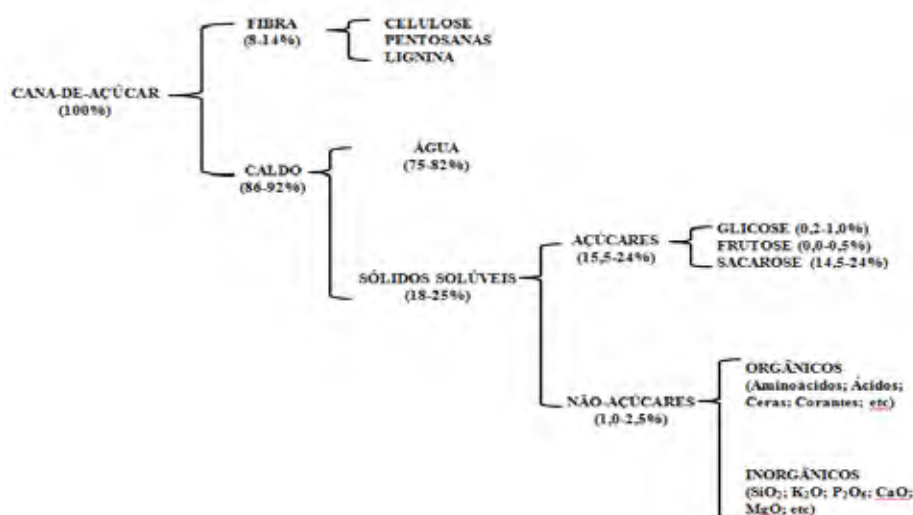


Figura 1 - Composição tecnológica do caldo de cana-de-açúcar
Fonte: Delgado e César, 1977

3.2.1.1 Compostos Orgânicos

Sacarose

A sacarose é o principal açúcar armazenado pela cana (ALEXANDER, 1973). 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).

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; 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).

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).

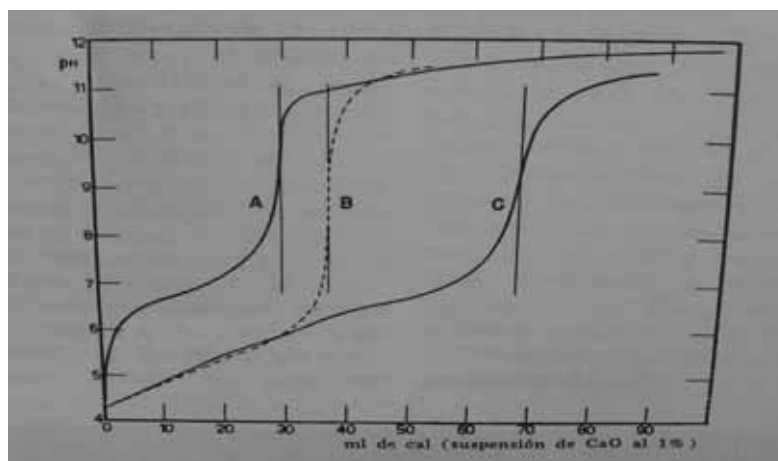


Figura 2 - Influência do Aconitato na Alcalinização. As curvas demonstram o curso da alcalinização das soluções puras e parcialmente neutralizadas de: A - ácido fosfórico; B - Ácido Aconítico; C - Ambos ácidos em iguais concentrações no meio. Fonte: Honig, 1969.

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 tecidos vivos (LEHNINGER et al., 2000).

No caldo de cana encontra-se, principalmente, albuminas, nucleínas 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 (GODSHALL, 1999).

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).

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).

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 glucorânio, os quais apresentam características melassigênica (HONIG, 1969).

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).

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).

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 retida 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 (RUPA; 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; 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; 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.

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).

3.2.1.2 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, 1993).

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 variem 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_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3); além dos ânions cloro, sulfito e fosfato. Tais moléculas apresentam diferentes comportamentos quando submetidos ao tratamento de caldo, fato representado pela quadro 1 (HONIG, 1969).

Analizando a quadro 1, 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).

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 está 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, 1993).

Quadro 1 - Comportamento dos compostos inorgânicos no caldo de cana, submetidos a extração por moenda, e no caldo clarificado.

	Caldo Original (Extração com moenda)	Caldo Clarificado
Cátions		
K ₂ O	Extraído com o caldo	Não removido
Na ₂ 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 ₂ O ₃	Extraído de 50-70%	Removido de 50-90%
Al ₂ O ₃	Extraído de 40-60%	Removido de 70-95%
Ânions		
Cl	Extraído no mesmo grau que a sacarose	Não removido
SO ₃	Extraído de 75-85%	Não removido
P ₂ O ₅	Extraído de 75-85%	Coagula com o cálcio ou magnésio

Fonte: Honig, 1969

3.3 Cristalização da Sacarose

Após a clarificação do caldo de cana, o mesmo é encaminhado para evaporadores, que objetivam concentrar o caldo clarificado até 55-65° brix (xarope). O xarope é um material viscoso, de elevada concentração de açúcares, de cor marrom ou caramelo e sem nenhuma presença de cristais de sacarose. Este é a matéria-prima dos cozedores/tachos e cristalizadores de sacarose (DELGADO; CESAR, 1977).

Admite-se que os processos de cozimento do xarope e cristalização da sacarose são a segunda etapa do processo de evaporação, pois nestes ocorrem concentração da solução, por meio de evaporação de água, até o aparecimento e crescimento dos cristais de açúcar (HONIG, 1969).

Os objetivos do processo de cristalização da sacarose consistem em uma primeira etapa, transformar a solução contendo açúcar a um estado cristalino, de modo que se obtenha o máximo de rendimento do produto comercial. Em uma segunda etapa, é necessário que o mel final apresente a menor quantidade de

açúcares possível, aumentando, desta maneira, os ganhos econômicos da unidade de produção açucareira (ALBUQUERQUE, 2011).

A migração da molécula de sacarose de seu estado aquoso para a forma sólida, obedece a leis físico-químicas que levam em consideração o estado de saturação da solução. Deve-se resaltar que tal composto apresenta elevada solubilidade em água, sendo esta, variável de acordo com a temperatura. Desta maneira, uma solução saturada de sacarose a 20°C, em equilíbrio termodinâmico, apresenta duas partes de sacarose para cada parte de água, sendo que a 100°C esta relação aumenta para cinco partes do primeiro para cada parte do segundo elemento (REIN, 2012).

Para se cristalizar a sacarose, requer elevar a concentração para acima daquela correspondente a uma solução saturada, conduzindo, de forma regulada, a solução até uma zona de supersaturação. Este processo deve ocorrer a temperaturas inferiores a 100°C, uma vez que elevadas temperaturas promovem danos ao material como, por exemplo, caramelização dos açúcares, fato o qual resulta em maior cor do produto final (PAYNE, 1989).

Nas usinas de açúcar, os cozimentos do xarope normalmente ocorrem entre 70-85°C. Entretanto a zona de supersaturação deve favorecer o crescimento dos cristais, fato regulado pela evaporação de água, concentração de sólidos solúveis, concentração de cinzas e até mesmo pela consistência da solução (ALBUQUERQUE, 2011).

As possíveis zonas de saturação das soluções açucaradas são: saturada, metaestável, intermediária e lábil. Admite-se que na zona saturada, todas as moléculas de sacarose encontram-se dissolvidas no xarope, nesta etapa o coeficiente de supersaturação é igual a 1,0 (Figura 3). A partir da concentração da solução com a retirada de água, esta adquire um aspecto supersaturado, caminhando até o aparecimento de cristais (REIN, 2012).

A primeira zona de supersaturação alcançada pelo material é a metaestável, a qual caracteriza-se pelo acúmulo de sacarose envolta de núcleos (pequenos grãos de açúcar), originando os cristais de açúcar. Entretanto, os núcleos, nesta etapa, devem ser inseridos no processo, pois a concentração da solução ainda é baixa

para que ocorra migração da sacarose de seu estado líquido para o sólido espontaneamente. Nesta etapa, o coeficiente de supersaturação é igual a 1,1.

Conforme a solução perde água e concentra-se, entra na zona de supersaturação intermediária. Esta caracteriza-se pelo aparecimento de pequenos cristais a partir do momento que se adiciona pequena quantidade de açúcar, ou seja, com a adição de mais sólidos na solução, aumentando, por consequência, sua concentração, a molécula de sacarose passa de seu estado líquido para o sólido rapidamente. Neste caso, o coeficiente de supersaturação é igual a 1,2.

A última zona de supersaturação alcançada pela solução é a lábil. Nesta etapa a sacarose cristaliza-se espontaneamente, sem necessidade de interferência externa, formando pequenos cristais de açúcar. Admite-se coeficiente de supersaturação igual ou maior a 1,3.

Nas usinas de açúcar brasileira, o cozimento ocorre utilizando o método da sementeira. Tal método consiste na adição de pequenos e uniformes cristais de açúcar (núcleos) quando a solução está em seu estado de supersaturação metaestável. Desta maneira, os cristais adicionados crescem de maneira uniforme, formando açúcares de tamanho igual (ALBUQUERQUE, 2011).

O produto obtido do cozimento do xarope é denominado de massa cozida. As fábricas de açúcar podem trabalhar com até 3 tipos de massa: massa de primeira ou "A", massa de segunda ou "B" e massa de terceira ou "C". Quanto mais massas a fábrica possuir, maior será a recuperação de açúcar e mais esgotado (baixa pureza) será o mel final. Geralmente a matéria-prima da massa de primeira é o xarope e o açúcar produzido da massa de segunda, enquanto que para a massa "B", a matéria-prima é o mel "A" e o açúcar da massa "C". A massa de terceira é produzida através do cozimento do mel residual da massa de segunda (DELGADO; CESAR, 1977).

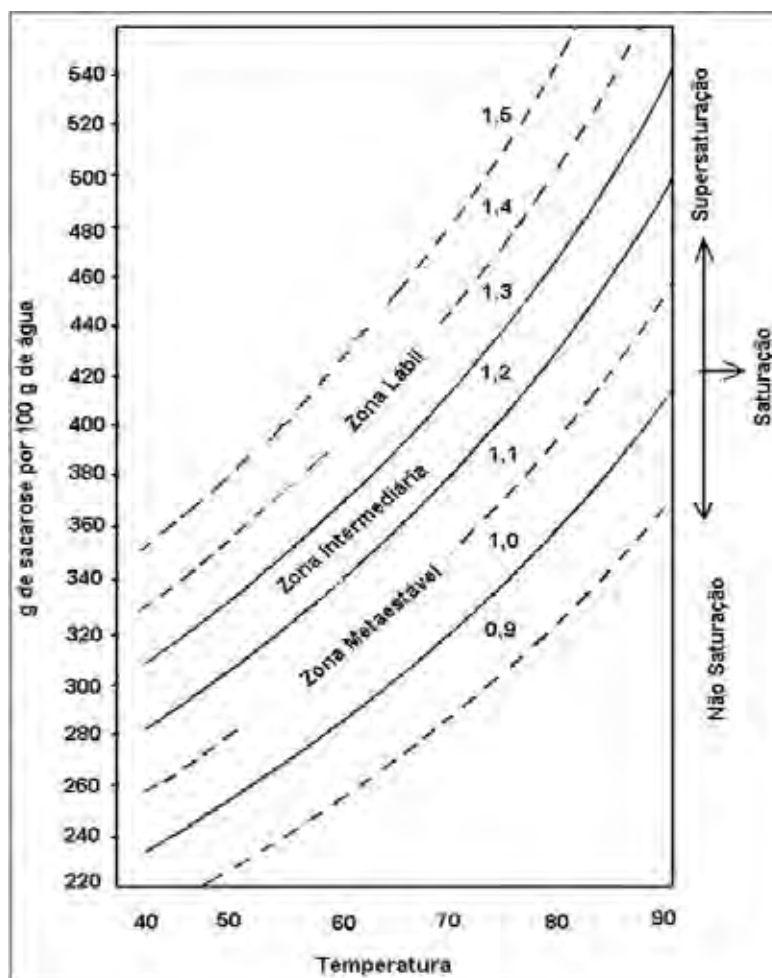


Figura 3 - Solubilidade da sacarose pura em água em função da temperatura
 Fonte: Rein, 2012

Após o cozimento e cristalização da sacarose, a massa cozida é enviada a centrífugas, onde ocorrerá a separação do açúcar produzido e do mel residual. O açúcar é encaminhado a processo de secagem e posterior acondicionamento e armazenamento, enquanto o mel é encaminhado a tanques de armazenamento. Este mel é diluído e utilizado como matéria-prima para a fermentação para produção de etanol (ALBUQUERQUE, 2011).

3.4 Critérios de qualidade do açúcar

Durante muito tempo a qualidade do açúcar esteve diretamente relacionado a quantidade de sacarose presente no cristal (Pol) e a cor que o mesmo apresentava.

Entretanto, devido as novas utilizações do açúcar, assim como a elevação do nível de exigência do consumidor final, novos parâmetros estão sendo impostos pelo mercado (REIN, 2012).

Atualmente o açúcar deve apresentar não só Pol e Cor dentro das especificações do cliente, mas também dextrana, amido, sulfito, cinzas, umidade, turbidez, filtrabilidade, granulometria, pontos pretos, partículas magnéticas, resíduos insolúveis, metais pesados, resíduos de agrotóxicos, além de nível de contaminantes microbiológico (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007; REIN, 2012).

As especificações do produto variam de acordo com o cliente e o tipo de açúcar a ser comercializado. No mercado brasileiro há seis diferentes tipos: Cristal Branco, VHP (Very High Purity), VVHP (Very Very High Purity), Demerara (cru), Mascavo, além do Refinado (Quadro 2). Tais produtos podem ser direcionados para o consumo direto, como também para refinarias ou indústrias de alimentos, bebidas, cosméticos, fármacos, entre outros (ALBUQUERQUE, 2011).

No Brasil, usualmente, somente os açúcares cristal branco e mascavo são consumidos diretamente, sendo os demais vendidos para outras indústrias.

A polarização do açúcar, ou Pol, é a quantidade de sacarose que o produto apresenta, sendo que quanto maior for este parâmetro, melhor a qualidade do produto final. Geralmente, açúcares com polarização acima de 99,7°Z (graus Zucker) são destinados a consumo direto, enquanto os que apresentam valores abaixo deste, são considerados como matérias-primas para outras indústrias, como as refinarias, com exceção do açúcar mascavo. Os demais componentes do cristal são representados, principalmente, por açúcares redutores, sais minerais e água. Há ainda a presença de amido, dextrana e outros polissacarídeos, assim como compostos coloridos e partículas minúsculas (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Quadro 2 - Especificações dos açúcares Cristal, VHP, VVHP e Mascavo

Característica	Unidade	Limite	Cristal	VHP	VVHP	Mascavo*
Cor ICUMSA	U.I.	máx.	95	1200	450	>1500
Polarização	°Z	mín.	99,8	99,0-99,49	99,6	85,0-91,0
Umidade	%	máx.	0,04	0,15	0,10	2,0-4,0
Resíduos Insolúveis	mg/kg	máx.	-	-	120	-
Pontos Pretos	Nº/100g	máx.	5	-	-	-
Part. Magnetizáveis	mg/kg	máx.	3	-	-	-
Cinzas	%	máx.	0,04	0,15	0,12	0,5-1,5
Sulfito	mg/kg	máx.	10	-	<1	-
Dextrana	mg/kg	máx.	-	-	350	-
Amido	mg/kg	máx.	-	-	250	-
Turbidez	NTU	máx.	50	-	50	-
Granulometria	CV em %	máx.	-	-	25	-
Salmonelas	em 25g	máx.	ausente	ausente	ausente	ausente
Leveduras e Bolores	UFC/g	máx.	50	100	100	5
Coliformes Fecais e Totais	Em 1g	máx.	ausente	ausente	ausente	ausente

Fonte: Arquivo Pessoal; *ARAUJO et al., 2011.

A cor do açúcar é resultante, principalmente, da película de mel envolto ao cristal não removida pela centrifugação, da ligação de mel a superfície ou a todo o cristal por forças de adsorção (dextrana, caramelos, etc), e a oclusão de licor-mãe no interior do cristal devido a rápida velocidade de cristalização (VAN HOOK, 1981 apud MANTELATTO, 2005). Entretanto, sabe-se que a época de processamento da cana-de-açúcar e a variedade também influenciam diretamente nestes valores (ALBUQUERQUE, 2011), assim como a quantidade de compostos fenólicos (GODSHAL, 1999; SIMIONI et al., 2006).

Na escala de especificações listadas na figura 2, destaca-se a presença de cinzas em diferentes açúcares. O nível destes compostos nos cristais de açúcar

ocorre em função da quantidade de inclusões nos mesmos (ALBUQUERQUE, 2011). As cinzas evidenciam a presença de sais inorgânicos, como o potássio e o cálcio (HONIG, 1969), entretanto pode ocorrer presença de sílica e sesquióxidos, como o ferro em sua forma coloidal (CHEN; CHOU, 1993). Para uma indústria de refino, o açúcar com elevada quantidade de cinzas impacta diretamente nos custos de refinação, uma vez que diminuem o desempenho e rendimento da fábrica, afetam negativamente a qualidade do produto e resulta em maior gasto de combustível para o processo (REIN, 2012).

A dextrana é um polissacarídeo formado por ligações lineares de glicose na posição α -(1-6). Apesar desta molécula estar presente nas fábricas de açúcar, ela não é sintetizada pela cana-de-açúcar, porém por microrganismos contaminantes (*Leuconostoc mesenteroides*) da matéria-prima ou mesmo do caldo na fábrica (ALBUQUERQUE, 2011). Estima-se que xaropes que apresentem baixa quantidade de dextrana, aproximadamente 10% deste polissacarídeos acaba retido no cristal de açúcar, entretanto quando o xarope apresenta quantidades acima de 5000 mg/kg%Brix, este percentual de retenção no cristal sobe para 30%.

Embora a dextrana não seja nociva a saúde humana, ela é extremamente prejudicial a refinarias, impactando na viscosidade da calda, no processo de clarificação e cristalização do açúcar refinado (REIN, 2012). Em indústrias de alimentos, esta molécula atua aumentando a viscosidade das soluções açucaradas, dificultando o endurecimento de balas e resultando no efeito "puxa-puxa" em barras de cereais (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

A quantidade de amido presente nos açúcares é outro parâmetro que afeta diretamente a qualidade e o preço obtido pelo produto. Esta molécula está presente nas folhas, ponteiros e entrenós da cana-de-açúcar e afeta negativamente o processamento industrial desta matéria-prima por aumentar a viscosidade do caldo (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Estima-se que aproximadamente 30% do amido presente no caldo fica retido no cristal de açúcar (REIN, 2012). Impacta negativamente em indústria de alimentos por diminuir a filtrabilidade de soluções açucaradas (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Atualmente considera-se a umidade do açúcar como um fator determinante para sua qualidade e seu valor de mercado, uma vez que está diretamente

relacionada ao tempo de armazenamento do produto, além de resultar em empedramento do mesmo. A quantidade de água presente no cristal favorece o desenvolvimento de microrganismos, os quais podem deteriorar o produto e torná-lo danoso a saúde pública (ALBUQUERQUE, 2011).

Entre os microrganismos presentes, destacam-se os fungos, bactérias termofílicas e leveduras; entretanto pode ocorrer desenvolvimento de salmonelas e coliformes totais ou fecais. Admite-se que tais contaminantes aparecem na indústria vindo do campo junto com a matéria-prima, entretanto ao longo do processamento somente os microrganismos termofílicos sobrevivem. A presença dos demais contaminantes esta associada as operações finais do processamento do açúcar (lavagem com água na centrifugação, condutores, manipulação humana, pó de açúcar, entre outros). Ao final do processo, os microrganismos acabam retidos no filme de mel que envolve o cristal (DELGADO; CESAR, 1977).

Atualmente as fábricas de açúcar estão controlando os resíduos de agrotóxicos presentes no produto final, advindos da aplicação de produtos na cana-de-açúcar. Sabe-se que existem mais de 40 diferentes tipos de moléculas comercializadas como defensivos agrícolas, reguladores vegetais, entre outros. A análise destes princípios ativos devem atender os limites (mg/kg) impostos pela ANVISA e Codex Alimentarius (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

3.5 *Moringa oleifera* Lam.

A planta *Moringa oleifera* Lam. é uma espécie perene, da família Moringaceae, nativa do noroeste indiano, amplamente distribuída na Índia, e nos países tropicais (RAMACHANDRAN *et al.*, 1980).

É cultivada, graças ao seu valor alimentar (folhas, frutos verdes, flores e sementes torradas); forrageiro (folhas, frutos e sementes); medicinal (todas as partes da planta); condimentar (principalmente as raízes), culinário e na indústria de cosméticos (óleo extraído das sementes), melíferos (flores); combustível (madeira e óleo) e no tratamento de água para o consumo humano (cotilédones e tegumento das sementes) (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2009).

A *M. oleifera* apresenta várias funções, mesmo que não seja uma árvore fixadora de nitrogênio suas partes componentes podem ser utilizadas para outros fins. Suas vagens, folhas e sementes podem ser consumidas como vegetais e apresentam um elevado valor nutritivo. O óleo extraído das sementes é empregado no preparo de pratos voltados a gastronomia, apresenta semelhança ao azeite tanto em sabor quanto em sua composição, além de ser utilizado na produção de sabão, cosméticos, combustíveis e sua madeira na produção de papel (SCHWARZ, 2000).

Atualmente as propriedades características da planta vêm sendo empregada desde tratamentos medicinais como de elevados índices de colesterol presentes no sangue até o tratamento de águas de efluentes contaminados, sendo no segundo caso visando substituir a utilização de coagulantes inorgânicos como o sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio ou PAC (BHUPATAWAT et. al, 2006).

O uso de materiais naturais de origem vegetal para clarificar água turva não é uma idéia nova (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1995). Porém, a utilização de extratos de *M. oleifera* está em destaque por apresentar respostas mais eficazes como coagulante primário em tratamentos de água, em propriedades químicas pode ser comparado ao do sulfato de alumínio (coagulante convencional).

O emprego do extrato da planta no tratamento de águas contaminadas por efluentes têxteis tem se mostrado eficaz (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998). Apresenta como vantagens principalmente o baixo custo e a facilidade de obtenção para países em desenvolvimento, a eficiência é independente do pH da água, o tratamento não modifica o pH do meio que está agindo, não altera as características organolépticas (a menos que uma dose muito alta seja empregada), o baixo volume de lodo precipitado é biodegradável.

Aplicação de floculantes da planta de *M. oleifera*, é altamente recomendado para a purificação da água para uso doméstico, por apresentar em sua estrutura uma proteína catiônica, umas das principais responsáveis pelo processo de decantação. Porém, não garante que a água tratada seja completamente (100%) livre de germes patogênicos. Uma vez que reduz o número de partículas suspensas drasticamente (floculação), também reduz relativamente a quantidade de microrganismos em água (SCHWARZ, 2000).

Deve-se ressaltar que o princípio ativo disponível no extrato de sementes pode ser uma proteína, quando submetido a extração somente com água, ou um polieletrólito orgânico, quando submetida a extração em solução salina (PAULA; PEREIRA; COSTA, 2009).

O extrato de folhas de moringa é um produto rico em ácido ascórbico, caroteno, ferro (BEZERRA; MOMENTÉ; MEDEIROS FILHO, 2004), vitamina A (SILVA; KERR, 1999), fitol, ácido hezadecanóico, timol (BARRETO et al., 2009), cálcio, potássio, proteínas (SOUSA; OLIVEIRA; SILVA, 2010; TEIXEIRA, 2012), polifenóis totais, quercetina, campferol, β caroteno (LAKO et al., 2007) entre outros elementos. Entretanto esta fonte vegetal não apresenta tanino, lectinas ou inibidores de tripsina (MAKKAR & BECKER, 1997). Tais compostos caracterizam este produto como fonte alimentícia e também fitoterápica, por ser eficaz em tratamentos contra obesidade (GHASI et al., 2000), hipertireoidismo (RICHTER; SIDDHURAJU; BECKER, 2003), infecção contra o vírus da herpes simplex tipo 1 (LIPIUN et al., 2003), entre outros. Todavia, não há pesquisas relatando o poder de coagulação das folhas de moringa.

4. 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., OLIVEIRA, A. J. Infecção na fermentação: como evitá-la. **Álcool e Açúcar**. São Paulo, v. 2, n. 5, p.12-18, 1982.

ARAUJO, E. R.; BORGES, M. T. M. R.; CECCATO-ANTONINI, S. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Qualidade de açúcares mascavo produzidos em um

assentamento da reforma agrária. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara-SP, v. 22, n. 4, p. 617-621, 2011.

BARRETO, M. B.; FREITAS, J. V. B.; SILVEIRA, E. R.; BEZERRA, A. M. E.; NUNES, E. P.; GRAMOSA, N. V. Constituintes químicos voláteis e não-voláteis de *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 19, p. 893-897, 2009.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S.; Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, p. 477-482, 2006.

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.

CLARKE, M. A.; LEGENDRE, B. R. Qualidade da cana-de-açúcar: impactos no rendimento do açúcar e fatores de qualidade. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.17, n.6, 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>. 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.

DATAGRO. **Uma nova política para o etanol.** Disponível em: <<http://www.datagro.com.br/acessar/?redirect=%2Frelatorio%2F2473%2Fuma-nova-politica-para-o-etanol>>. Acesso em: 10/07/2011.

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

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: IAC, 2008.

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.

EGGLESTON, G.; MONGE, A. PEPPERMAN, A. Preheating and incubation of cane juice to liming: a comparison of intermediate and cold lime clarification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 484-490, 2002.

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.

GHASI, S.; NWOBODO, E.; OFILI, J. O. Hypcholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. **Journal of Ethnopharmacology**, n.69, p.21-25, 2000.

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.

GPO - U.S. Government Printing Office. Food and Drug Administration - Subpart A - Polymer Substances and Polymer Adjuvants for Food Treatment. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title21-vol3/pdf/CFR-2012-title21-vol3-sec173-10.pdf>>. Acesso em: Novembro de 2012.

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.

ILLOVO. **International Sugar Statistics - 2010.** Disponível em: <http://www.illovo.co.za/World_of_sugar/Sugar_Statistics/International.aspx>. Acesso em: 02/11/2011.

KHANDAGAVE, R. B., THANGAMUTHU, P. **A vegetable clarifying agent for cane juice clarification.** XXVII ISSCT. Vera Cruz – México. 2010.

LAKO, J.; TRENERRY, V. C.; WAHLQVIST, M.; WATTANAPENPAIBOON, N.; SOTHEESWARAN, S.; PREMIER, R. Phytochemical flavonols, carotenoids and the

antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1727-1741, 2007.

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

LIPIPUN, V.; KUROKAWA, M.; SUTTISRI, R.; TAWEECHOTIPATR, P.; PRAMYONTHIN, P.; HATTORI, M.; SHIRAK, K. Efficacy of Thai medicinal plant extracts againsts herpes simplex virus tipy 1 infection in vitro and in vivo. **Antiviral Research**, v. 60, p. 175-180, 2003.

MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. Junho de 2010.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 128, p. 331-322, 1997.

MANTELATTO, P.E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP. Outubro de 2005.

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.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Water Resources**, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Resouces**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

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.

OLIVEIRA JUNIOR, S.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; SOUTO, P. C.; MAIOR JÚNIOR, S. G. S. Adubação com diferentes esterco no cultivo de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Revista Verde**, Mossoró-RN, v.4, n.1, p.125-134, 2009.

OLIVEIRA, E. V.; FINZER, J. R. D. Clarificação do caldo de cana-de-açúcar usando taninos. In: Seminário de Iniciação Científica, 8, 2012. **Anais...** Uberaba-MG, 2012.

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.

PAULA, S.L.; PEREIRA, N.C.; COSTA, S.C. **Aplicação da *Moringa oleifera* na clarificação do extrato aquoso de *Stevia rebaudiana (bert.) bertonii***. Encontro Nacional de Moringa. Aracaju-SE. 2009.

PAYNE, J. H. **Operações Unitárias na Produção de Cana**. Nobel:STAB, 1989.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K. V.; GOPALAKRISHNAN, P. K. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. **Economic Botany**, n.34, p.276–283, 1980.

RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L.L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol

production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p 120-129, 2011.

REIN, P. **Cane Sugar Engineering**. 2. ed. Berlin:Bartens, 2012.

RICHTER, N.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Evaluation of nutritional quality of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as na alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v. 217, p. 599-611, 2003.

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

RUPA, 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.

SANCHÉZ-MARTIN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; PERES, A. Improvement of the flocculation Process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, vol. 29, n. 3, p. 495-501, 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.

SCHWARZ, D. Water Clarification using *Moringa oleifera*. **Technical Information**. Disponível em: <http://www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/w1e_2000.pdf>. Acesso em: 20/10/2009.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba:ESALQ/USP, 2006.

SENGUPTA, M. E.; KERAITA, B.; OLSEN, A.; BOATENG, O. K.; THAMSBORG, S. M.; PÁLSDÓTTIR, G. R.; DALSGAARD, A. Use of Moringa oleifera seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. **Water Research**, vol. 46, p. 3646-3656, 2012.

SILTON, R. Novas legislações sobre o uso do enxofre. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba-SP, v. 31, n. 2, p. 28, 2012.

SILVA, A. R.; KERR, W. E. **Moringa: uma nova hortaliça para o Brasil**. Uberlândia: UFU/DIRIU, 1999.

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.

SOUSA, T. O.; OLIVEIRA, G. L. S.; SILVA, R. A. C. **Potencial antioxidante do extrato metanólico da folha de *Moringa oleifera* Lam. pelo sequestro do radical DPPH**. X CONNEPI - Maceió-AL. 2010.

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

STUPIELLO, J. P. Produção de Aguardente: Qualidade da matéria-prima. : MUTTON, M.J.R., MUTTON, M. A. **Aguardente de cana – produção e qualidade**. Jaboticabal: FUNEP, 1992, p.93-132.

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

TEIXEIRA, C. M. L. L.; KIRSTEN, F. V.; TEIXEIRA, P.C.N. Evaluation of Moringa oleifera seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae.

Journal of Applied Phycology, v. 24, p. 557-563, 2012.

TEIXEIRA, E. M. B. **Caracterização química e nutricional da folha de moringa (*Moringa oleifera* Lam.)**. Tese de doutorado- Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade Estadual Paulista. Araraquara-SP, 2012.

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

CAPÍTULO 2 - DIFERENTES DOSAGENS DE EXTRATO DE FOLHAS E SEMENTES DE *Moringa oleífera* Lam. NA CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Different doses of extract of leaves and seeds of *Moringa oleífera* Lam. in sugarcane juice clarification

Resumo - A moringa (*Moringa oleífera* Lam.) é muito utilizada como floculante natural no tratamento de água para o consumo doméstico, por remover impurezas grosseiras e coloidais presentes. Desta maneira, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes dosagens de extrato de folhas e sementes de moringa, utilizados como auxiliares de sedimentação, no tratamento do caldo de cana por defecação simples. O extrato de folhas foi aplicado nas dosagens de 5, 10, 15 e 20 mg.L⁻¹, enquanto o extrato de sementes foi utilizado nas concentrações de 100, 150, 200 e 250 mg.L⁻¹. Afim de se avaliar a qualidade dos extratos, foi analisado o teor de brix, pH, compostos fenólicos totais, cinzas, acidez total e compostos inorgânicos presentes nos mesmos. Para avaliar a qualidade do processo de clarificação e do caldo de cana clarificado foi determinado a velocidade de sedimentação das impurezas, volume de lodo sedimentado, turbidez, brix, pH e compostos fenólicos totais. O extrato de folhas de moringa apresentou maior quantidade de compostos inorgânicos em relação ao extrato de sementes. Os extratos de folhas e sementes de moringa promoveram caldo clarificado de qualidade aceitável para a indústria sucroalcooleira, sendo considerada melhor dosagem de 5 mg.L⁻¹ para o primeiro extrato e de 100 mg.L⁻¹ para o segundo. Comparando-se os dois extratos, concluiu-se que o extrato de folhas foi mais eficiente como auxiliar de sedimentação do caldo clarificado.

Palavras-chave adicionais: defecação simples; biomoléculas; açúcar VHP; qualidade; sedimentação

Abstract - Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) is widely used as a natural flocculant in water treatment for domestic consumption, by removing coarse and colloidal impurities. Thus, the objective of this study was to evaluate different doses of leaf and seeds extract of moringa, used as auxiliary sedimentation in the treatment of sugarcane juice for simple defecation. The leaf extract was administered at doses of 5, 10, 15 and 20 mg.L⁻¹, while the seed extract was used in concentrations of 100, 150, 200 and 250 mg.L⁻¹. In order to evaluate the quality of the extracts, was analyzed the content of brix, pH, total phenolic compounds, ashes, acidity and inorganic compounds present in them. To assess the quality of the clarification process and clarification of sugar cane juice was determined by the speed of sedimentation of impurities, sedimented sludge volume, turbidity, brix, pH and total phenolic compounds. The moringa leaf extract showed a higher amount of inorganic compounds in relation to seed extract. The extracts of leaves and seeds of Moringa promoted clarified juice quality acceptable to the alcohol industry, and is considered best dosage of 5 mg l⁻¹ for the first extract and 100 mg l⁻¹ for the second (being the smallest dosing). Comparing the two extracts, it was concluded that the leaf extract was more effective as an aid to sedimentation clarified broth.

Additional Keyword: simple defecation; biomolecules; sugar VHP; quality; sedimentation

1. Introdução

O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, com previsão de processamento para a safra 2012/2013 de 595 milhões de toneladas, aumento de 6,2% em relação à anterior. Esta matéria-prima é destinada tanto para a fabricação de açúcar como de etanol (CONAB, 2012), produtos com crescente demanda a médio prazo (UNICA, 2011). O mercado de açúcar é muito favorável ao Brasil, o qual se posiciona como o principal produtor e exportador mundial (ILLOVO, 2011).

O preço do açúcar é definido de acordo com a oferta e a demanda do mercado mundial, entretanto as características do cristal interferem diretamente no seu valor econômico. Dentre ela, deve-se ressaltar o teor de sacarose, cor, cinzas,

umidade, amido, dextrana, resíduos de agrotóxicos, metais pesados, dentre outros (OLIVEIRA et al., 2007).

Desta maneira, a busca por tecnologias que aperfeiçoem e otimizem o processo industrial e que reduzam custos de produção para a empresa devem ser constantes, visando sempre a obtenção de açúcar de qualidade. Neste contexto, a fábrica apresenta grandes possibilidades de inovação em sua cadeia produtiva, as quais variam desde as operações agrícolas, extração, tratamento e evaporação do caldo, cozimento do xarope, cristalização da sacarose, além das operações finais de produção como centrifugação, secagem, acondicionamento e armazenamento do produto obtido.

Entre as etapas de produção, deve-se ressaltar o tratamento do caldo, o qual têm por objetivo remover compostos que prejudicam a cristalização da sacarose e a qualidade do açúcar produzido, além de promoverem danos nos equipamentos da fábrica. Dentre eles destacam-se elementos insolúveis no caldo (terra e bagacilho) e elementos solúveis (clorofila, antocianina, sais inorgânicos, compostos fenólicos, amido, dextrana, entre outros). Quanto maior for a remoção de impurezas nesta etapa, melhor será a qualidade do cristal obtido (ALBUQUERQUE, 2011).

Atualmente o tratamento de caldo demanda grande quantidade de energia e insumos, uma vez que a remoção destas impurezas ocorre através de reações químicas entre fosfatos dissolvidos na matéria-prima e cálcio/enxofre adicionados. Os produtos destas reações são fosfatos ou sulfatos de cálcio, que por serem insolúveis precipitam-se. Para acelerar a velocidade de sedimentação destas partículas, adiciona-se no caldo polieletrólitos, os quais reagem com as mesmas no

decantador, resultando na formação de flocos de elevado tamanho e peso molecular, que rapidamente precipitam (DOHERTY & RACKEMANN, 2009).

Entretanto, tais polieletrólitos são sintetizados a partir de acrilamidas, originando poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas (REIN, 2012). Estes produtos apresentam elevados custos e podem desenvolver ações carcinogênicas. Neste contexto, a utilização de produtos naturais como substitutos ao sintético, pode reduzir os custos de produção, além de agregar valor ao açúcar.

Entre os produtos naturais, destacam-se extratos das folhas e sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam.). Estes já são amplamente utilizados, sendo o primeiro empregado na alimentação e na medicina (GHASI et al., 2000) e, o segundo, usado no tratamento de água para o uso doméstico, por apresentar uma proteína catiônica que precipita as impurezas (BHUPTAWAT et. al, 2006).

A moringa é uma planta de pequeno porte que pode alcançar até 12 metros. Apresenta capacidade de cultivo desde regiões com precipitações anuais de mais de 3000 mm até regiões que apresentam índice pluviométrico de 250-1500 mm (SCHWARZ, 2000). Estas características da planta apontam grande adaptabilidade ao cultivo no sistema canavieiro brasileiro, uma vez que o setor apresenta unidades agroindustriais em solos salinos e de baixa precipitação (Nordeste) até solos ricos e de elevada precipitação (Sudeste).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo caracterizar os extratos de folhas e sementes de moringa e avaliar a melhor dosagem para utilizá-los como auxiliar de sedimentação do caldo de cana.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP, na safra 2011/2012.

Primeiramente foi realizado o preparo dos extratos de folhas (GHASI et al., 2000) e sementes (BATHIA et al., 2007) de moringa.

Após o preparo, ambos produtos foram submetidos as análises de brix, pH, acidez total, cinzas condutimétricas (inorgânicos solúveis) (CTC, 2005) e compostos fenólicos (FOLIN & CIOCALTEAU, 1927).

Também foram quantificados os teores de potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro, manganês, zinco e cobre dos extratos; Para isso, adicionou-se em 2mL da amostra, 6mL de ácido nítrico p.a. 65%, sendo posteriormente levada a bloco digestor até temperatura de 130°C, onde permaneceu por duas horas. Em seguida as amostras foram resfriadas até temperatura ambiente e adicionou-se 2mL de ácido perclórico. Os extratos foram recolocados no bloco digestor até temperatura de 210°C. Após tornarem-se incolores, as estas foram novamente resfriadas a temperatura ambiente, sendo o volume completado até 25mL com água destilada. Realizou-se a seguir a leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

Após caracterização dos extratos, foi coletado caldo da variedade de cana-de-açúcar RB867515 (colhida em seu período útil de industrialização e submetida a processo de moagem), realizando-se adequação de pH até $7,0 \pm 0,1$ através da adição hidróxido de cálcio a 6ºBaumé. Após a dosagem, o mesmo foi aquecido até a fervura (100-105°C) sendo, posteriormente, dispostos em provetas de 1L, as quais já continham os flocculantes (extratos), para sedimentação das impurezas. Após 20

minutos em repouso, o caldo foi filtrado em papel qualitativo (18,5cm de diâmetro e 14µm de porosidade) para separação do lodo sedimentado.

Objetivando determinar a melhor dosagem para o extrato de folhas, utilizou-se as concentrações de 5, 10, 15 e 20 mg.L⁻¹, enquanto que para o extrato de sementes foram utilizadas as concentrações de 100, 150, 200 e 250 mg.L⁻¹.

Ao longo do processo de clarificação do caldo, foi avaliada a velocidade de sedimentação das partículas e o volume de lodo formado (CTC, 2005). A qualidade do caldo clarificado foi determinada analisando-se o brix, pH (CTC, 2005), turbidez (COPERSUCAR, 2001) e compostos fenólicos (FOLIN & CIOCALTEAU, 1927).

Ao final, foram realizados dois ensaios, um para o extrato de folhas e o outro para o de sementes de moringa, utilizando-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo caldo original e pelas quatro diferentes dosagens utilizadas dos extratos.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias analisadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização dos Extratos

No quadro 1 estão representados os valores obtidos para brix, pH, compostos fenólicos, acidez total e cinzas solúveis dos extrato de sementes e folhas de moringa. Observa-se que o extrato de folhas apresentou 13,3%, 56,1% e 28,3% a mais de brix, compostos fenólicos e cinzas solúveis, respectivamente, em relação ao extrato de sementes. Os teores encontrados estão abaixo das concentrações obtidas para as folhas frescas da planta, sendo que nestes casos, os valores de cinzas são da ordem de 2% (MOURA et al., 2009) e compostos fenólicos podendo apresentar até 4000mg/L (SREELATHA & PADMA, 2009). Entretanto, os valores apresentados foram obtidos a partir da extração dos compostos em água, solvente responsável por diluir ambos, resultando em menores teores.

Comparando-se os teores de pH dos extratos de sementes e folhas de moringa, verificou-se características ácida para o primeiro e neutra para o segundo. O pH neutro do extrato de folhas, assemelha-se ao pH obtido para floculantes sintéticos em solução, parâmetro importante para estes produtos, pois pouco influenciará na solução clarificada.

Quadro 1 – Resultados obtidos para a análise de brix, pH, compostos fenólicos, acidez total e cinzas solúveis dos extratos de sementes e folhas de moringa.

Extratos	Brix	pH	Compostos Fenólicos (mg.L ⁻¹)	Acidez Total (mg.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Cinzas Solúveis (%)
Semente	1,3	3,3	357,6	0,71	0,33
Folha	1,5	7,2	815,0	0,66	0,46

No quadro 2, estão representados os teores de potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro, manganês, zinco e cobre obtidos para extratos de sementes e folhas de

moringa. Verificou-se, que de modo geral, o extrato de folhas apresentou maior quantidade dos compostos analisados em relação ao extrato de sementes. De modo semelhante aos parâmetros citados anteriormente, observou-se menores concentrações de compostos inorgânicos para os extratos em relação as folhas e sementes frescas. Estima-se que as folhas da planta apresentem teores de 4590mg.L^{-1} de potássio, 420mg.L^{-1} de magnésio, $8,5\text{mg.L}^{-1}$ de ferro e $1,6\text{mg.L}^{-1}$ de zinco (MARTHUR, 2005).

Quadro 2 - Resultados obtidos para a quantidade de potássio, magnésio, cálcio, sódio, ferro, manganês, zinco e cobre nos extratos de sementes e folhas de moringa.

Extratos	K	Mg	Ca	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg.L^{-1}							
Semente	450	62,5	Lim.	62,10	Lim.	0,25	Lim.	Lim.
Folha	1100	125,0	43,5	62,25	1,25	2,75	0,5	3,25

Lim.: Abaixo do limite de detecção

3.2 Análise do caldo de cana clarificado

Na tabela 1 estão representados os valores médios de brix, pH e compostos fenólicos do caldo original e clarificado com diferentes dosagens do extrato de folhas de moringa. Observou-se que tal produto, aplicado em diferentes concentrações, não interferiu nos teores de sólidos solúveis, fato este positivo quando comparado com os tratamentos convencionais, uma vez que este também não interfere no brix do caldo clarificado (DOHERTY & RACKEMANN, 2009).

Avaliando-se o pH resultante da clarificação com extrato de folhas, observou-se que houve aumento em relação ao caldo original, fato esperado devido ao

acréscimo de cálcio ao caldo até pH 7,0. Comparando-se o pH em diferentes dosagens, verificou-se que não houve diferença significativa entre tais tratamentos.

Considerando-se as dosagens empregadas do extrato de folhas como auxiliares de sedimentação, na quantidade de compostos fenólicos no caldo clarificado, verificou-se que apenas o tratamento no qual empregou-se 5 mg.L⁻¹ do produto, foi eficiente para reduzir significativamente a concentração destas biomoléculas. Tal fato deve ser destacado, uma vez que tais compostos reagem com íons de ferro e oxigênio do ar, resultando na formação de produtos coloridos (RUPA & ASOKAN, 2008). Este aumento de cor no caldo resultante da elevada concentração de compostos fenólicos, impacta diretamente na cor do cristal de açúcar produzido, reduzindo seu valor comercial (SIMIONI et al., 2006). Deve-se ressaltar que embora o extrato de folhas de moringa tenha apresentado elevada concentração de tais biomoléculas, não se observou aumento das mesmas no caldo clarificado, fato este caracterizado pela turbidez (Tabela 2).

Tabela 1 - Valores médios de brix, pH e compostos fenólicos totais do caldo original e clarificado utilizando-se extrato de folhas de moringa em diferentes dosagens como auxiliar de sedimentação. Safra 2011/2012.

Dosagens (mg.L ⁻¹)	Brix	pH	Compostos Fenólicos (ug.mL ⁻¹)
Caldo Original	16,1 a	5,2 b	260,0 a
5	16,5 a	6,0 a	153,5 b
10	16,3 a	5,9 a	186,0 ab
15	16,0 a	6,0 a	170,1 ab
20	16,2 a	6,0 a	201,5 ab
DMS (P=0,05)	0,63	0,41	99,99
CV(%)	1,46	2,62	19,13

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na tabela 2 estão representados os valores médios de velocidade de sedimentação, volume de lodo e turbidez observado ao longo do processo de clarificação, utilizando diferentes dosagens de extrato de folhas de moringa como auxiliar de sedimentação. Verificou-se que para os três parâmetros analisados não houve diferença significativa entre as concentrações empregada do produto. Entretanto, os valores determinados são equiparáveis aos obtidos quando se utiliza polieletrólitos sintéticos, os quais apresentam velocidade de sedimentação próximas a 3cm.min^{-1} , 200mL de lodo sedimentado e turbidez na faixa de 80-90% (MADALENO, 2006; MADALENO, 2010).

Tabela 2 - Valores médios de velocidade de sedimentação, volume de lodo e turbidez do caldo clarificado utilizando-se extrato de folhas de moringa em diferentes dosagens como auxiliar de sedimentação. Safra 2011/2012.

Dosagens (mg.L ⁻¹)	Velocidade de Sedimentação (cm.min ⁻¹)	Volume de Lodo (mL)	Turbidez (%)
5	2,93 a	166,67 a	89,43 a
10	2,92 a	183,33 a	90,66 a
15	2,47 a	190,00 a	90,13 a
20	2,13 a	223,33 a	91,60 a
DMS (P=0,05)	1,88	58,48	7,20
CV(%)	27,51	11,72	3,05

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 3 estão representados os valores médios de brix, pH e compostos fenólicos do caldo original e clarificado utilizando-se diferentes dosagens do extrato de sementes de moringa. Avaliando-se o teor de sólidos solúveis no caldo clarificado, não foi observado, assim como no extrato de folhas, diferenças significativas entre as concentrações empregadas do produto. Outro fato semelhante ao ocorrido com o extrato de folhas, foi o maior pH do caldo clarificado em relação

ao caldo original, o qual apresentou-se próximo da neutralidade. Entretanto, todas dosagens utilizadas para o extrato de sementes de moringa, reduziram significativamente o teor de compostos fenólicos do caldo.

Tabela 3 - Valores médios de brix, pH e compostos fenólicos totais do caldo original e clarificado com extrato de sementes de moringa em diferentes dosagens. Safra 2011/2012.

Dosagens (mg.L ⁻¹)	Brix	pH	Compostos Fenólicos (ug.mL ⁻¹)
Caldo Original	16,1 a	5,2 b	260,0 a
100	16,3 a	6,2 a	184,0 b
150	16,3 a	6,1 a	196,7 b
200	17,1 a	6,1 a	185,6 b
250	16,5 a	6,2 a	190,8 b
DMS (P=0,05)	2,56	0,54	58,31
CV(%)	5,79	3,38	10,65

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 4 estão representados os valores médios de velocidade de sedimentação, volume de lodo e turbidez observados ao longo do processo de clarificação, utilizando diferentes dosagens de extrato de sementes de moringa como auxiliar de sedimentação. Verificou-se que para os três parâmetros analisados, assim como no extrato de folhas, não houve diferença significativa entre as concentrações empregada do produto.

Como não houve diferença significativa entre a velocidade de sedimentação, volume de lodo e turbidez entre as dosagens empregadas dos extratos de folhas e sementes de moringa, tais valores foram considerados repetições e analisados em um modelo estatístico inteiramente casualizado, afim de se comparar os tratamentos. Tais resultados estão representados pela figura 1.

Tabela 4 - Valores médios de velocidade de sedimentação, volume de lodo e turbidez do caldo clarificado com extrato de sementes de moringa em diferentes dosagens. Safra 2011/2012.

Dosagens (mg.L ⁻¹)	Velocidade de Sedimentação (cm.min ⁻¹)	Volume de Lodo (mL)	Turbidez (%)
100	2,42 a	216,66 a	83,10 a
150	2,30 a	196,66 a	82,83 a
200	1,32 a	226,67 a	81,55 a
250	1,72 a	236,66 a	79,70 a
DMS (P=0,05)	2,31	239,82	17,84
CV(%)	45,48	41,84	8,34

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

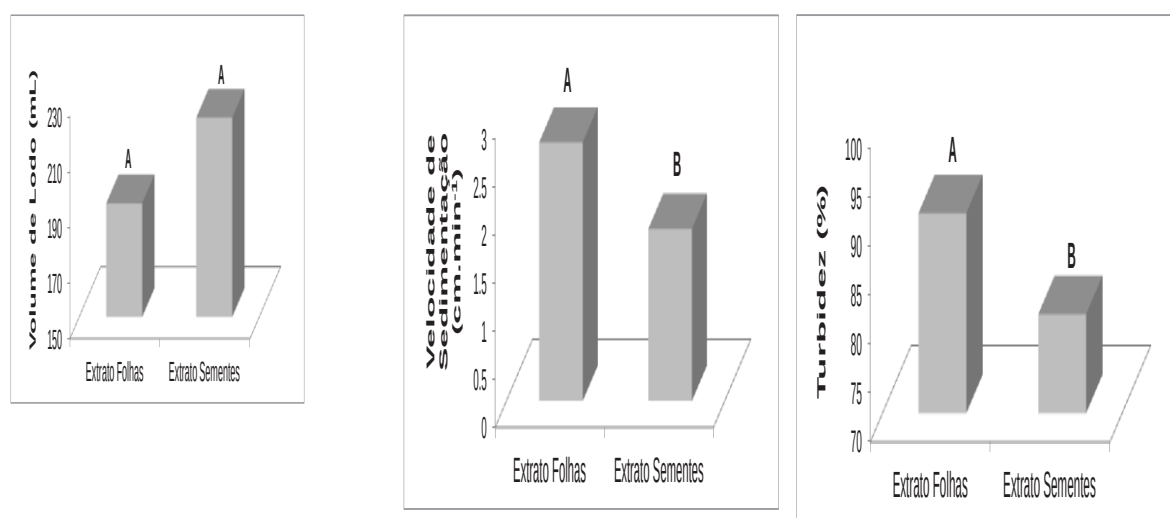


Figura 1 - Valores médios observados para volume de lodo, velocidade de sedimentação e turbidez do caldo submetido a processo de clarificação utilizando extrato de folhas ou sementes de moringa como auxiliares de sedimentação.

Observou-se que tanto o extrato de folhas, como o extrato de sementes de moringa, utilizados como auxiliares de sedimentação no tratamento do caldo, produziram volume de lodo estatisticamente iguais. Entretanto, o extrato de folhas promoveu maior velocidade de sedimentação dos flocos formados da reação entre fosfatos presentes no caldo e o cálcio adicionado, assim como maior turbidez do caldo clarificado (figura 1).

Estes resultados podem estar relacionados a maior quantidade de compostos inorgânicos presentes no extrato de folhas, os quais, provavelmente, promoveram a formação de flocos mais pesados que, conseqüentemente, resultou em maior velocidade de sedimentação. Embora a utilização dos extratos de moringa como auxiliares de sedimentação tenham promovido volume de lodo iguais, o produto preparado a partir das folhas da planta, apresentou menores médias, fato que pode indicar maior compactação destas impurezas.

4. Conclusão

O extrato de folhas de moringa apresentou maior quantidade de compostos inorgânicos em relação ao extrato de sementes.

A melhor dosagem para o extrato de folhas de moringa foi de 5 mg.L^{-1} e para o extrato de sementes foi de 100 mg.L^{-1} .

Comparando-se os dois extratos, concluiu-se que o extrato de folhas foi mais eficiente como auxiliar de sedimentação do caldo clarificado.

5. Referências

ALBURQUERQUE, F.M. **Processo de fabricação do açúcar**. 3. ed. Recife:Editora Universitária UFPE, 2011. 449p.

BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A. L. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v.145, p.120-126, 2007.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G.K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v.142, p.477-482, 2006.

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>. Acesso em: dezembro de 2012.

COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba:COPERSUCAR, 2001. Disponível em CD-ROM.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba:Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. Disponível em CD-ROM.

DOHERTY, W. O. S.; RACKEMANN, D. W. Some aspects of calcium phosphate chemistry in sugarcane clarification. **International Sugar Journal**, v.111, p. 448-455, 2009.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v.73, n.2, p.627-50, 1927.

GHASI, S.; NWOBODO, E.; OFILI, J. O. Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v.69, p.21-25, 2000.

ILLOVO. **International Sugar Statistics.** Disponível em:
<http://www.illovosugar.co.za/World_of_sugar/Sugar_Statistics/International.aspx>.
Acesso em: 27/01/2013.

MADALENO, L.L. **Infestação de *Mahanarva fimbriolata* (STÅL, 1854) e controle químico na qualidade da matéria-prima e clarificação do caldo de cana.** 2006. 50f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido.** 2010. 93f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

MATHUR, B. S. 2005. **Um Potencial Salvador de Vidas.** Organization Tress For Life, Disponível em:
<<http://www.treesforlife.org/our-work/our-initiatives/moringa/moringa-book>>. Acesso em 27/01/2013.

MOURA, A. S.; SOUZA, A. L. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; LIRA, M. L.; SILVA, G. F. **Caracterização físico-química da folha, flor e vagem da moringa (*Moringa oleífera* Lamarck).** In: ENCONTRO NACIONAL DA MORINGA, 2009. Aracaju:Sergipe Biodiesel, 2009.

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, v.27, p.99-102, 2007.

REIN, P. **Cane Sugar Engineering**. 2. ed. Berlin:Bartens, 2012. 883p.

RUPA, T. R.; ASOKAN, S. Effect of ring pigments and juice colorants on juice claribility, settling time and mud volume of sugarcane. **Sugar Tech**, Nova Delhi, v.10, n.2, p.109-113, 2008.

SCHWARZ, D. 2000. **Water Clarification using *Moringa oleifera***. GTZ-GATE. Disponível em: <http://www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/w1e_2000.pdf>. Acesso em: 23/01/2013.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009. Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

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, v.24, n.3, p.36-39, 2006.

SREELATHA, S.; PADMA, P. R. Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. **Plants Foods For Human Nutrition**, v.64, p.303-311, 2009.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar. 2011. **Perspectivas para os mercados de açúcar e etanol**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/download/Marcos_Jank-Painel4.pdf>. Acesso em: 23/01/2013.

CAPÍTULO 3 - EXTRATO DE FOLHAS DE *Moringa oleífera* Lam. COMO CLARIFICANTE DO CALDO DE CANA

Resumo: O objetivo foi avaliar o efeito de extrato de folhas de *Moringa oleífera* Lam como auxiliar de sedimentação de impurezas no tratamento de caldo de cana. O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 4x2 com quatro repetições. Os tratamentos principais foram constituídos pelo caldo original (extraído), polieletrólito sintético Flomex 9076, extrato de folhas e testemunha. Os tratamentos secundários foram representado pelas variedades de cana-de-açúcar RB92579 e RB867515. O processo de clarificação utilizado foi por defecação simples, sendo os floculantes inseridos no processo concomitantemente ao caldo, caleado e aquecido, no decantador. Avaliaram-se as características químico-tecnológicas e microbiológicas do caldo extraído e clarificado. Concluiu-se que a utilização de extrato de folhas de moringa resultou em caldo clarificado de melhor qualidade, por reduzir significativamente a quantidade de compostos fenólicos totais e a cor do material.

Palavras-Chave: defecação simples, polieletrólito, biomolécula, sedimentação, coloides

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial na produção de açúcar, tendo produzido, nos últimos cinco anos, entre 30 e 40 milhões de toneladas anuais.¹ Analisando-se o mercado futuro de açúcar, observa-se grande potencial de crescimento, graças ao desenvolvimento populacional e econômico de países emergentes como, por exemplo, a China.²

Neste cenário de possibilidade, são fundamentais pesquisas por novas tecnologias que contribuam para o aumento da produtividade, com redução dos custos de produção tanto no setor agrícola como industrial e que possibilitem aprimorar a qualidade do produto obtido. Neste contexto, destacam-se operações relativamente simples como o tratamento do caldo de cana, a qual objetiva remover impurezas que afetam negativamente diversas etapas do processo de produção de açúcar, tais como a evaporação, o cozimento e a cristalização,³ além da fermentação destinada a produção de etanol.⁴

Atualmente este tratamento é decorrente da reação química entre o fosfato, presente no caldo, e o cálcio, adicionado na forma de hidróxido de cálcio, da qual resulta um floco insolúvel que se precipita na forma de fosfato de cálcio. Ao sedimentar, esta molécula arrasta impurezas insolúveis (terra) e solúveis (clorofila, xantofila, entre outros). Estas impurezas, quando solubilizadas no caldo de cana, podem resultar em aumento da cor e teor de cinzas do cristal de açúcar, além de elevar a viscosidade do caldo diminuindo a recuperação do açúcar pela fábrica.³

Para acelerar a velocidade de sedimentação dessas partículas, adicionam-se polieletrólitos sintéticos à base de poliacrilamida. Estas moléculas normalmente são

polares, aniônicas, de cadeia longa e que reagem com os flocos formados (fosfato de cálcio), aumentando o tamanho e peso do flocos e, conseqüentemente, a velocidade de precipitação.⁵

Entretanto, devido as ações carcinogênicas da poliacrilamida, alguns países como os Estados Unidos limitam a utilização deste produto para até 5 mg/kg de caldo.⁶ Esta limitação tem intensificado a busca por moléculas extraídas de fontes naturais, que apresentam propriedades que favoreçam a clarificação do caldo e que não apresentem toxicidade, podendo ainda aumentar o valor agregado do produto. Entre as fontes naturais, destacam-se as plantas, as quais poderão ser cultivadas em áreas da unidade agroindustrial, resultando ainda em redução do custo final de produção.

Dentre os produtos estudados, destacam-se o extrato de folhas e sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam.), que são amplamente utilizados para o tratamento de água, a fim de precipitar impurezas solúveis e insolúveis,⁷ além de reduzir a carga microbiana.⁸

O extrato de sementes também vem sendo utilizado para a remoção de surfactantes, como lauryl sulfato de sódio, de soluções aquosas.⁹ Estudos também comprovam a eficiência deste produto para a remoção de cor e turbidez de efluentes de galvanoplastia.¹⁰

Neste sentido, objetivando avaliar a eficiência do extrato de folhas de *Moringa oleífera* Lam., como auxiliar de sedimentação no tratamento do caldo de cana destinado à produção de açúcar VHP, é que se realizou esta pesquisa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Jaboticabal-SP.

O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 4x2 com quatro repetições. O tratamento principal foi constituído pelo caldo original (extraído) e três diferentes auxiliares de sedimentação: Polieletrólito sintético, extrato de folhas de moringa, e testemunha. O tratamento secundário correspondeu às duas variedades de cana-de-açúcar: RB867515, mais cultivada do Brasil com aproximadamente 25% de toda a área plantada, e RB92579, predominante em 54% das áreas do nordeste brasileiro e caracterizada por ser rica em compostos que elevam a cor do açúcar. As duas matérias-primas foram colhidas manualmente, sem queima prévia da palha, em unidades produtoras da região de Jaboticabal-SP.

Após colhidos, os colmos foram submetidos ao processo de extração do caldo em moenda de laboratório. O caldo extraído foi tratado segundo metodologia CTC (2005),¹¹ a qual consistiu em adicionar 300 mg/L de fósforo (ácido fosfórico), seguido de hidróxido de cálcio 6°Bé até pH $7,0 \pm 0,1$, obtendo-se o caldo dosado. Este foi aquecido até ebulição, afim de acelerar a reação entre o cálcio e o fosfato, sendo posteriormente disposto em provetas graduadas, as quais já continham os diferentes auxiliares de decantação, em suas respectivas dosagens. Após 20 minutos em repouso, o caldo foi filtrado em papel de filtro qualitativo Qualy de 18,5 cm de diâmetro e 14 μm de porosidade.

O extrato de folhas de *Moringa oleífera* Lam., foi obtido a partir de folhas frescas da planta, colhidas no mês de agosto de 2011, na cidade de Jaboticabal-SP.

O extrato foi preparado segundo metodologia descrita por Ghasi et al. (2000),¹² e aplicado no caldo na concentração de 5 mg/L (dosagem definida após realização de testes preliminares).

O polieletrólito sintético utilizado foi o Flomex 9076, sendo utilizado na dosagem de 1.5 mg/L (dosagem definida após realização de testes preliminares).

Para avaliar-se a eficiência dos auxiliares de sedimentação, foram analisados: teor de brix,¹³ açúcares redutores totais,¹⁴ cinzas solúveis,¹¹ compostos fenólicos totais,¹⁵ cor,¹¹ aminoácidos,¹⁶ proteínas¹⁷ no caldo original e clarificado. Também determinou-se a velocidade de sedimentação das partículas,¹¹ o volume de lodo¹¹ e a turbidez¹⁸ do caldo ao longo do processo de decantação.

Afim de avaliar o efeito sobre os micro-organismos, o caldo original e clarificado foram inoculados em três diferentes meios de cultivo específicos: WLN (leveduras),¹⁹ MRS (bactérias lácticas)²⁰ e PCA (micro-organismos totais),²¹ sendo os resultados expressos em unidades formadoras de colônias (UFC/mL).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F e as médias analisadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando o programa ASSISTAT versão 7.6 beta.²² Os resultados de proteínas, velocidade de sedimentação e volume de lodo foram transformados em raiz quadrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro passo foi avaliar os reflexos do tratamento de caldo com diferentes auxiliares de sedimentação sobre os açúcares presentes em duas variedades de cana-de-açúcar. Não houve alteração da quantidade de açúcares nos caldos

clarificados, quando comparados ao caldo original. Este fenômeno ocorre em virtude do processo de clarificação do caldo por defecação simples não remover açúcares do caldo, apenas substâncias insolúveis e pequena parte dos sólidos solúveis.²³ Deve-se ressaltar que as duas variedades de cana apresentavam a mesma quantidade de sólidos solúveis e de açúcares redutores totais, ambos na faixa de 22% e 19%, respectivamente.

A seguir quantificou-se cinzas solúveis no caldo original e clarificado, provenientes de duas variedades de cana. O caldo proveniente da variedade RB867515 apresentou o dobro de cinzas em relação ao da RB92579 (Figura 1). Nestas condições, clarificação do caldo da variedade RB92579 não resultou em redução e nem acréscimo no teor destes compostos. Entretanto somente o tratamento de caldo com extrato de folhas de moringa promoveu redução significativa de cinzas para a variedade RB867515, sendo que os demais tratamentos resultaram em acréscimo em relação ao caldo original. O aumento destes compostos no caldo clarificado da variedade RB867515 pode estar relacionado com o cálcio adicionado no processo de clarificação, sendo que somente o extrato de folhas resultou em um complexo suficiente para remove-los. Deve-se considerar que o teor de cinzas do caldo indica a quantidade de sais solúveis ionizados presentes em uma solução açucarada, como por exemplo o cálcio, potássio, fósforo, magnésio, entre outros.⁶

Foi quantificado o teor de proteínas no caldo original e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar, utilizando diferentes auxiliares de sedimentação. Houve redução significativa do teor de proteínas nos diferentes caldos clarificados em relação ao original, para as duas variedades de cana (Figura 2). A redução

destas biomoléculas é essencial para a produção de açúcar de qualidade, uma vez que caso permaneça no processo, pode resultar em aumento da viscosidade do xarope produzido, além da redução da velocidade de cristalização da sacarose. Deve-se ressaltar que a eliminação de proteínas pelo tratamento de caldo ocorre principalmente pelo processo de fervura do caldo, sendo que nestas condições ocorre coagulação de proteínas e consequente precipitação.²³

Foi quantificado o teor de aminoácidos nos caldos original e clarificados de duas variedades de cana, uma vez que tais compostos são um dos possíveis precursores de cor no açúcar produzido, devido a sua característica em reagir com açúcares redutores e formar complexos coloridos (Reação de Maillard).²⁴ O processo de clarificação refletiu diferentemente para o teor de aminoácidos no caldo clarificado para as duas variedades de cana (Figura 2). Ocorreu acréscimo destes compostos para a variedade RB92579 enquanto para a RB867515 a concentração não se alterou em relação ao caldo original. O aumento de aminoácidos para a variedade RB92579 pode estar associada a hidrólise de proteínas durante o processo de aquecimento. Deve-se ressaltar que a utilização de diferentes auxiliares de sedimentação não interferiu na quantidade de aminoácidos no caldo clarificado.

Quantificou-se os compostos fenólicos no caldo original e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar, com diferentes auxiliares de sedimentação. O tratamento convencional (polieletrólito sintético) não reduziu tais biomoléculas ao longo do processo de clarificação concordando com Albuquerque (2011)³. Entretanto o extrato de folhas de moringa removeu quantidade significativa em relação ao caldo original. Tais resultados são interessantes, pois os compostos fenólicos podem reagir com íons de ferro presentes no caldo resultando num complexo colorido, que

aumenta a cor do açúcar, provocando consequente queda no preço de mercado.²⁶ Deve-se considerar ainda que a variedade de cana RB92579 apresentou maior quantidade destes compostos em relação a RB867515, concordando com dados disponíveis na literatura.

Como resultado da clarificação do caldo de cana ocorre remoção de compostos que resultam em aspecto colorido ao caldo, como clorofila e antocianina, que se permanecerem no caldo, aumentam a cor do açúcar.²³ Desta maneira foi quantificado a cor do caldo original e clarificado para duas variedades de cana, utilizando diferentes auxiliares de sedimentação. As variedades de cana apresentaram comportamentos diferentes quando submetidas ao processo de clarificação. Enquanto não houve alteração da cor do caldo clarificado em relação ao original para a variedade RB867515, houve redução significativa para o caldo clarificado da RB92579, sendo que o extrato de folhas de moringa promoveu melhores resultados (Figura 4). Considerando que a variedade RB92579 apresenta elevados compostos, como fenólicos, que aumentam a cor do caldo clarificado, o resultado promovido pelo extrato de folhas é de grande importância para a indústria açucareira, pois a atual clarificação utilizando floculante sintético, para esta variedade de cana, não remove cor suficiente para produzir açúcar de qualidade.²⁵

Foi determinado a presença de leveduras, bactérias e micro-organismos totais no caldo original e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar. O processo de clarificação do caldo reduziu a quantidade de micro-organismos no caldo clarificado para concentrações abaixo de 10^2 . Para as variedades, observou-se que a RB92579 apresentou menor quantidade de leveduras em relação a RB867515, provavelmente esta menor presença destes micro-organismos está associada a maior quantidade

de compostos fenólicos, uma vez que tais compostos são inibidores do metabolismo das leveduras.²⁹

Afim de caracterizar os aspectos operacionais da clarificação com extrato de folhas de moringa, foi avaliado a velocidade de sedimentação e o volume de lodo precipitado. O tratamento convencional (Flomex 9076) resultou em maior velocidade de sedimentação dos flocos e promoveu menor volume de lodo formado, em relação ao extrato de moringa, para ambas variedades de cana (Figura 5). Entretanto, analisando a figura 5, observa-se que o extrato de folhas de moringa promoveu maior taxa de clarificação após 10 minutos em repouso. Como o ensaio durou por 20 minutos, recomenda-se para estudos futuros manter o processo por uma hora, para melhor avaliar a velocidade de sedimentação e o volume de lodo formado. O volume de flocos sedimentados para a variedade RB867515 foi 33% maior em relação a RB92579, fato este que pode estar associado a maior presença de cinzas na primeira matéria-prima, uma vez que compostos como o fósforo, quando em excesso no caldo (acima de 300 mg/L) podem resultar em lodos mais volumosos e de baixa densidade.³¹

Desta maneira, a utilização de extrato de folhas de *Moringa oleífera* Lam. como auxiliar de sedimentação no tratamento de caldo de cana, promoveu melhor qualidade do caldo clarificado em relação ao tratamento convencional (polieletrólito sintético), sendo que cada variedade apresentou comportamento diferente quando submetida ao processo de clarificação por defecação simples.

Os resultados referentes ao extrato de sementes de moringa como auxiliar de sedimentação estão apresentados nas tabelas 1 a 3 do apêndice.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). *2º levantamento nacional da safra 2012/2013 da cana-de-açúcar*. http://conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf / (acessada em Fev 02, 2013).
- (2) Jank, M. S. *Perspectivas para os mercados de açúcar e etanol*. http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/download/Marcos_Jank-Painel4.pdf / (acessada em Fev 01, 2013).
- (3) Albuquerque, F. M. *Processo de Fabricação de Açúcar*, 3th ed., UFPE: Recife, Brasil, 2011; pp 447.
- (4) Amorim, H. V. *Fermentação alcoólica, ciência e tecnologia*, Fermentec: Piracicaba, Brasil, 2005; pp 434.
- (5) Chen, J. C. P.; Chou, C. C. *A manual for cane sugar manufactures and their chemists*, 12th ed., John Wiley & Sons: New York, New York, 1992; pp 1090.
- (6) U.S. Government Printing Office (GOP). Foods and Drugs Administration. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title21-vol3/pdf/CFR-2012-title21-vol3-sec173-10.pdf> / (acessada em Fev 03, 2013).
- (7) Ndabigengesere, A.; Narasiah, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Wat. Res.* **1998**, 32, 3, 781-791.
- (8) Pritchard, M.; Craven, T.; Mkandawire, T.; Edmondson, A. S.; O'Neill, J. G. A comparison between *Moringa oleífera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries *Phys. and Chem. of the Earth.* **2010**, 798-805.

- (9) Beltrán-Heredia, J.; Sánchez-Martin, J. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. *J. of Hazardous Materials*. **2009**, 713-719.
- (10) Vaz, L.G.L.; Klen, M.R.F.; Veiti, M.T.; Silva, E.A.; Barbiero, T.A.; Bergamasco, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Ecl. Quím.* **2010**, 35, 4, 45-54.
- (11) Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). *Manual de métodos de análises para açúcar*, Centro de Tecnologia Canavieira: Piracicaba, Brasil, 2005.
- (12) Ghasi, S.; Nwobodo, E.; Ofili, J. O. Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. *J. of Ethnopharm.*, **2000**, 21-25.
- (13) Scheneider, F. *Sugar Analysis ICUMSA methods*, Peterborough, 1979.
- (14) Lane, J. H.; Eynon, L. *Determination of reducing sugars by Fehling solution with methylene blue indicator*, Norman Rodger: London, Inglaterra, 1934.
- (15) Folin, O.; Ciocalteau, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *The J. of Biol. Chem.* **1927**, 73, 2, 627-650.
- (16) Yemm, E. W., Cocking, E. C. The determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst*. **1955**, 80, 209-213.
- (17) Kjeldahl, J. Z. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs im organischen Körper. *Chem.* **1883**, 22, 366-382.
- (18) Copersucar. *Manual de controle químico da fabricação de açúcar*, Copersucar: Piracicaba, Brasil, 2001.

- (19) Stroppa, T.; Alves, J. G. L. F.; Figueiredo, A. L. F.; Castro, C. C. Parâmetros cinéticos de linhagens de levedura isoladas de alambiques mineiros. *Ciênc. Agrotec.* **2009**, 33, 1978-1983.
- (20) Man, J. C.; Rogosa, M.; Sharpe, M. E. A medium for the cultivation of *Lactobacillus*. *J Appl Bact*, **1960**, 23, 130-135.
- (21) U.S. Food and Drug Administration. *Bacteriol. Anal. Manual*, 8th ed., AOAC International: Maryland, 1995.
- (22) Silva, F. de A.S; Azevedo, C.A.V. Anais do 7o World Congress on Computers in Agriculture, Reno, Estados Unidos, 2009.
- (23) Honig, P.; *Princípios de tecnologia azucarera*. Companhia Editorial Continental: México, 1969.
- (24) Coca, M.; Garcia, M. T.; Mato, S.; Catóns, A.; González, G. Evolution of colorants in sugarbeet juices during decolorization using styrenic resins. *J. of Food Engineering*. **2008**, 89, 429-434.
- (25) 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. *Resumos do 51º Congresso Brasileiro de Química*, São Luís, Brasil, 2011.
- (26) Simioni, K. R.; Silva, L. F. L. F.; Barbosa, V.; Re, 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*. **2006**, 24, 3, 36-39.
- (27) Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. 1th ed., Barros & Marques Editoração eletrônica: Piracicaba, Brasil, 2004. pp 333.

- (28) Eggleston, G.; Legendre, B. L.; Richard, G. Effect of harvest method and storage time on cane deterioration. *International Sugar Journal*. **2001**, 103, 331-338.
- (29) Ravaneli, G. C.; Garcia, D. B.; Madaleno, L. L.; Mutton, M. A.; Stupiello, J. P.; Mutton, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **2011**, 46, 2.
- (30) Santana, C. R.; Pereira, D. F.; Sousa, S. C. S. N.; Cavalcanti, E. B.; Silva, G. F. Evaluation of the process of coagulation/flocculation of produced water using *Moringa oleífera* Lam. as natural coagulant. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*. **2010**, 4, 111-117.
- (31) Delgado, A.A.; Cesar, M.A.A. *Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana*. Editora Zanini:Sertãozinho, Brasil, 1977; v 2, pp 387.

Tabela 1 - Valores médios de proteínas, aminoácidos totais, compostos fenólicos totais, cor e dextrana do caldo original e clarificado obtido a partir da variedades RB92579 e RB687515. Safra 2011/2012.

Tratamento	Compostos Fenólicos (mg/L)
Caldo Original	580.15AB
Testemunha	479.03C
Flomex 9076	623.14A
Extrato de Folhas	513.72BC
Teste F	8.47**
DMS	86.84
RB92579	630.58A
RB867515	467.44B
Teste F	53.68**
DMS	45.97
C.V.	11.47
Inter. TxV	1.38 ^{ns}

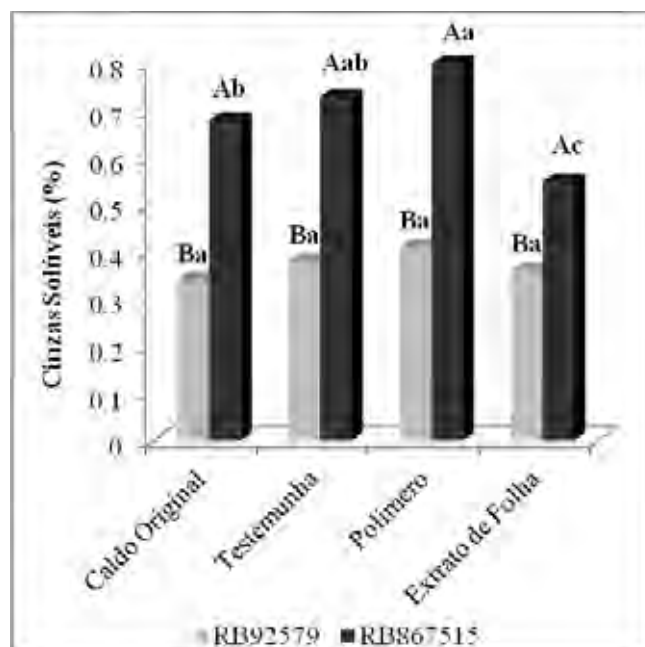
Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

Tabela 2 - Valores médios de leveduras (WLN), bactéria lácticas (MRS) e microrganismos totais (PCA) do caldo clarificado obtido a partir da variedades RB92579 e RB687515. Safra 2011/2012.

Tratamento	Leveduras (10 ³ UFC/mL)	Microrganismos Totais (10 ⁴ UFC/mL)	Bactérias (10 ⁴ UFC/mL)
RB92579	14.02B	21.05A	5.96A
RB867515	57.50A	15.55A	6.86A
Teste F	134.28**	1.74 ^{ns}	0.18 ^{ns}
DMS	9.17	10.19	5.13
C.V.	14.84	32.21	46.29
Testemunha	<100	<100	<100
Flomex 9076	<100	<100	<100
Extrato de Folhas	<100	<100	<100

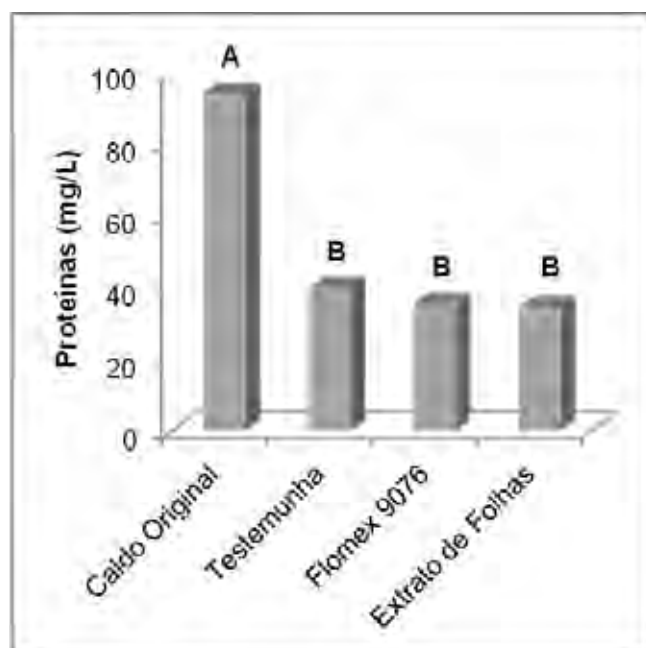
Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

Figura 1 - Desdobramento da interação de cinzas no caldo de duas variedades de cana-de-açúcar, tratados com diferentes auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.



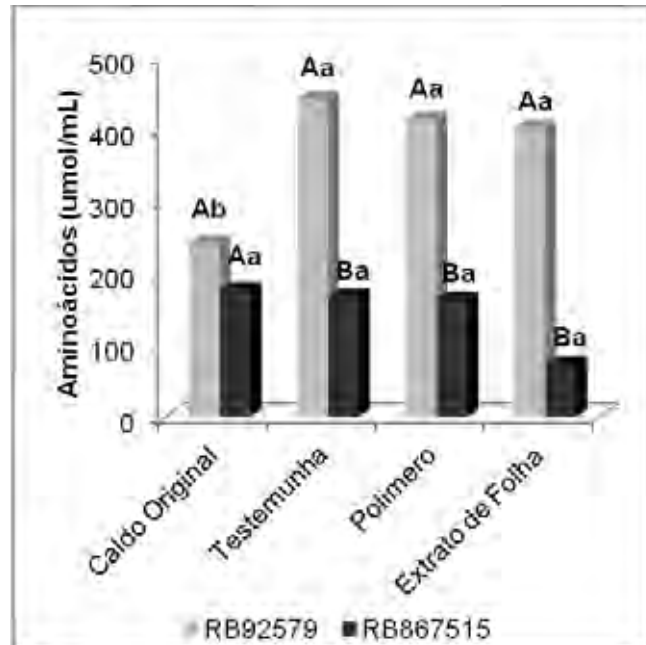
letras minúsculas comparam tratamentos principais (auxiliares de sedimentação) e letras maiúsculas comparam tratamentos secundários (variedades)

Figura 2 – Valores médios de proteínas no caldo original e clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.



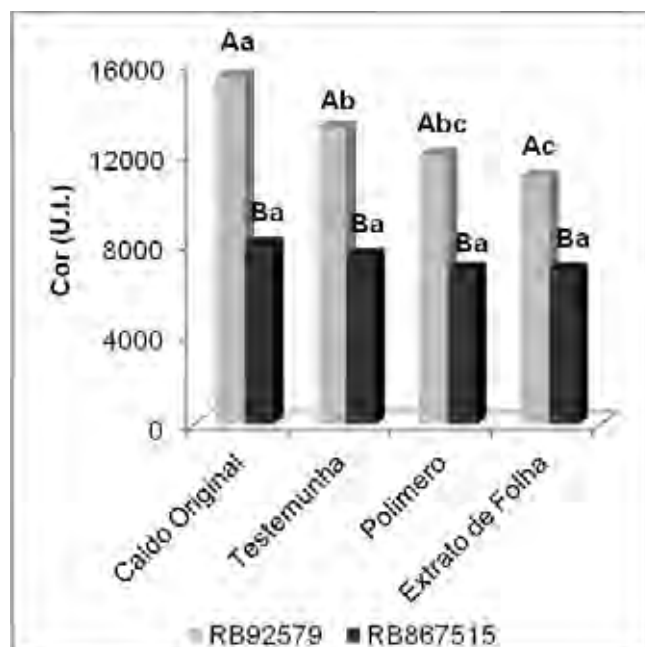
letras maiúsculas comparam tratamentos principais (auxiliares de sedimentação)

Figura 3 - Desdobramento da interação de aminoácidos no caldo de duas variedades de cana-de-açúcar, tratados com diferentes auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.



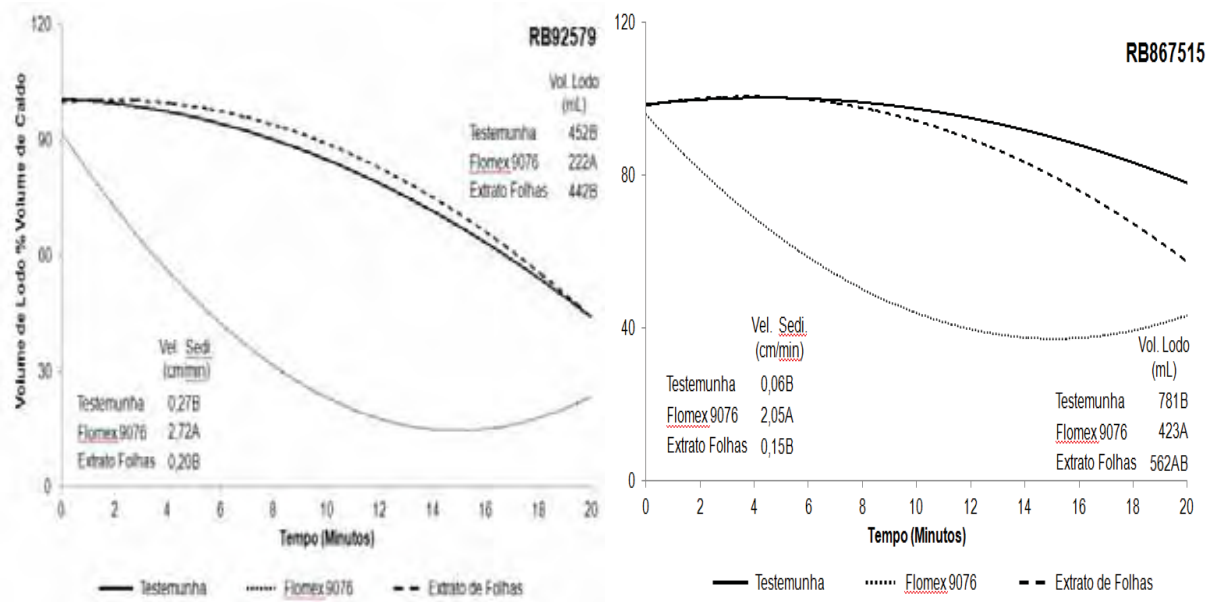
letras minúsculas comparam tratamentos principais (auxiliares de sedimentação) e letras maiúsculas comparam tratamentos secundários (variedades)

Figura 4 - Desdobramento da interação de cor no caldo de duas variedades de cana-de-açúcar, tratados com diferentes auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.



letras minúsculas comparam tratamentos principais (auxiliares de sedimentação) e letras maiúsculas comparam tratamentos secundários (variedades)

Figura 5 - Volume de lodo % Volume de caldo em função do tempo, ao longo do tratamento do caldo, utilizando-se a variedade RB92579 e RB867515. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.



CAPÍTULO 4 - QUALIDADE DO AÇÚCAR VHP PRODUZIDO A PARTIR DE CLARIFICAÇÃO COM *Moringa oleífera* Lam.

RESUMO

O crescimento econômico de um país influencia diretamente o seu padrão de consumo alimentar. Quanto mais desenvolvido é o país, mais açúcar é consumido de modo direto ou indireto. Neste contexto, estima-se que a consolidação de novos mercados a médio prazo como grandes consumidores do produto, resultarão em demanda crescente, com aumento do rigor das especificações do produto impostas pelo cliente. Neste cenário se faz importante o aperfeiçoamento das tecnologias já existentes, para o tratamento de caldo, sendo que os produtos originados de fontes naturais apresentam-se como alternativa importante. O objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos do emprego de extrato de folhas e semente de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) como auxiliar de sedimentação no tratamento de caldo, e reflexos sobre a qualidade do açúcar VHP e do mel produzidos. O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 4x2, sendo quatro diferentes flocculantes (extrato de folhas e sementes de moringa, Flomex 9076 e testemunha) e duas variedades de cana-de-açúcar (RB92579 e RB867515). Avaliou-se as características químico-tecnológicas do xarope, açúcar e mel. Observou-se que o emprego de flocculantes naturais no tratamento do caldo, resultou na produção de açúcar de melhor qualidade e mel de qualidade similar ao tratamento convencional. Quando a variedade RB92579 foi utilizada como matéria-prima, o açúcar produzido apresentou melhor qualidade e mel de pior qualidade em comparação à RB867515.

1. INTRODUÇÃO

Nos três últimos anos, o mercado açucareiro mundial vivenciou experiências muito particulares, decorrentes do elevado preço do produto (1,25 U\$S por libra), resultante das consecutivas quebras de safras no Brasil e na Índia por fatores climáticos (Valente e Satolo, 2010). Embora a expectativa para o ano de 2013 é que os preços decresçam, a médio prazo estima-se que a demanda internacional pelo açúcar aumente, devido ao aumento do consumo em países populosos como a China (UNICA, 2011).

Assim, como decorrência do aumento da demanda, ocorrerá aumento do rigor das especificações de qualidade para o produto impostas pelo cliente. Atualmente o açúcar deve apresentar não só Pol e Cor dentro das especificações estabelecidas, mas também dextrana, amido, sulfito, cinzas, umidade, turbidez, filtrabilidade, granulometria, pontos pretos, partículas magnéticas, resíduos insolúveis, metais pesados, resíduos de agrotóxicos além do nível de contaminantes microbiológico (Oliveira et al., 2007; Rein, 2012).

Nesta nova sistemática de produção de qualidade, algumas tecnologias utilizadas atualmente pelas unidades industriais são passíveis de aperfeiçoamento, visando a redução de custos e a agregação de valor do produto final.

Dentre tais tecnologias, destaca-se o tratamento químico do caldo de cana, que visa remover impurezas que afetam a qualidade do açúcar produzido, através de coagulação e precipitação das mesmas. Para a fábrica de açúcar, considera-se impurezas todos compostos que sejam não sacarose, tais como: terra, compostos fenólicos, ácidos, aminoácidos, proteínas, corantes, dentre outros. Admite-se que quanto mais compostos forem removidos pelo processo de clarificação do caldo, melhor será a qualidade do produto final (Honig, 1969).

Ao mesmo tempo, objetivando aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos formados, adiciona-se polieletrólitos catiônicos ou aniônicos. Tais moléculas caracterizam-se por unir pequenos coágulos formados, da reação entre o cálcio e o fósforo/enxofre, em um único floco de tamanho e peso maior, que, por ação da gravidade, sedimentará rapidamente (Rein, 2012).

Tais compostos são de origem sintética, sendo produzidos a partir de acrilamidas, originando poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas (Albuquerque,

2011). Neste contexto, a substituição destes produtos por flocculantes originados de fontes naturais podem reduzir os custos de produção, devido a possibilidade do cultivo das mesmas nas unidades agroindustriais, além da possibilidade de sua utilização na fabricação de produtos orgânicos.

Entre os produtos naturais estudados, destaca-se o extrato de folhas e sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam.). O extrato de sementes é amplamente utilizados como flocculante no tratamento de água para o uso doméstico, por apresentar em sua estrutura uma proteína catiônica responsável pelo processo de decantação (Schwarz, 2000). Estudos demonstram ainda a aplicabilidade desta propriedade de sedimentação para a produção de água para irrigação (Sengupta, et al., 2012) e remoção de surfactantes da água (Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín, 2009), dentre outras.

O extrato de folhas de moringa é rico em proteínas, sais minerais (Sousa, Oliveira e Silva, 2010), polifenóis totais, quercetina, campferol e β caroteno (Lako, et al., 2007). Tais propriedades o caracterizam como fonte alimentícia e também fitoterápica (Ghasi, Nwobodo e Ofili, 2000). Entretanto, não há pesquisas relatando a capacidade de coagulação deste produto.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos do emprego de extrato de folhas e sementes de *Moringa oleífera* Lam. como auxiliares de sedimentação no tratamento do caldo de cana, e reflexos sobre a qualidade do açúcar VHP produzido e mel resultante, utilizando-se duas variedades de cana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo - safra 2011/2012.

O delineamento experimental foi o fatorial 4x2, com 4 repetições. Os tratamentos principais foram constituídos de quatro auxiliares de sedimentação: extrato de folhas e de sementes de moringa, polieletrólito sintético Flomex 9076 e tratamento testemunha. Os tratamentos secundários foram duas variedades de cana-de-açúcar: RB92579 e RB867515.

As variedades de cana foram colhidas no período útil de industrialização (PUI), em unidades produtoras da região de Jaboticabal-SP, sendo, posteriormente,

submetidas ao processo de extração em moenda de laboratório. O caldo extraído foi clarificado através de processo por defecação simples, utilizando-se metodologia de análise de floculantes descrita por CTC (2005) e Rein (2012). Os tratamentos principais foram empregados junto ao caldo no decantador.

O extrato de sementes de moringa foi preparado segundo metodologia sugerida por Bathia, Othman e Ahmad (2006), utilizando-se sementes frescas da planta. A dosagem utilizada foi de 100 mg.L^{-1} de caldo, sendo esta estabelecida após a realização de testes preliminares.

O extrato de folhas de moringa foi preparado segundo Ghasi, Nwobodo e Ofili, (2000), utilizando-se folhas frescas da planta. A dosagem empregada (5 mg.L^{-1} de caldo) foi determinada em testes preliminares.

O polieletrólito sintético Flomex 9076 foi preparado segundo recomendações do fabricante, utilizado-se a dosagem de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de caldo.

Após clarificado, o caldo foi submetido ao processo de evaporação em rotoevaporador de simples efeito até 60° brix, originando o xarope. Este foi submetido a análises químico-tecnológicas, sendo quantificado o brix, Pol, pureza, pH (CTC, 2005) e aminoácidos (Yemm e Cocking, 1955).

A massa cozida foi obtida através de cozedor piloto, sendo o cozimento conduzido à temperatura de $61 \pm 2^\circ \text{C}$. A nucleação de cristais foi realizada através do uso de “sementes”. Após a nucleação, o processo foi mantido na zona metaestável de supersaturação, com alimentação de xarope a 60° brix.

Após o cozimento, realizou-se separação do açúcar do mel em centrífuga a 6300g por 5 minutos. Utilizou-se vapor para lavagem do açúcar com pressão de 1 kgf/cm^2 por 2 segundos no primeiro minuto da centrifugação. O açúcar foi submetido ao processo de secagem iniciando com secador de fluxo de ar quente e em seguida em estufa à 35°C por 12 horas.

A qualidade do açúcar obtido foi determinada através das análises de Pol, pH, cinzas, umidade, cor, compostos fenólicos, amido, dextrana (CTC, 2005), fator de segurança para armazenamento (Rein, 2012).

O mel resultante da centrifugação da massa cozida foi submetido as análises de brix, Pol, pureza, pH, compostos fenólicos (CTC, 2005) e aminoácidos (Yemm e Cocking, 1955).

Para os resultados obtidos, realizou-se análise de variância pelo teste F, e comparação de médias pelo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (Silva, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente avaliou-se a qualidade do xarope produzido a partir da clarificação do caldo de duas variedades de cana, com diferentes auxiliares de sedimentação. Os xaropes produzidos a partir de clarificação com polieletrólito sintético e extrato de folhas de moringa apresentaram maiores teores de sacarose aparente, entretanto o teor de sólidos solúveis, pureza, pH e aminoácidos foram iguais para todos os tratamentos estudados (Tabela 1). Avaliando-se os xaropes produzidos a partir de duas diferentes variedades de cana-de-açúcar, observou-se que o caldo concentrado da variedade RB92579 apresentou maior pureza e menor pH em relação a RB867515.

Tabela 1 - Valores médios obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH e Aminoácidos do xarope produzido por diferentes auxiliares de sedimentação de duas variedades de cana-de-açúcar.

	Brix (%)	Pol (°S)	Pureza (%)	pH	Aminoácidos (g.L⁻¹)
Testemunha	61,12A	49,53B	81,95A	5,79A	3,01A
Flomex 9076	62,00A	53,70A	86,75A	5,78A	3,13A
Extrato de Sementes	59,37A	48,84B	82,68A	5,67A	2,79A
Extrato de Folhas	60,25A	50,66AB	84,60A	5,78A	2,68A
Teste F	1,30ns	3,89*	2,34ns	0,21ns	0,95ns
DMS	3,85	4,24	5,46	0,44	0,81
RB92579	59,68A	51,72A	86,71A	5,57B	2,87A
RB867515	61,68A	49,64A	81,28B	5,94A	2,94A
Teste F	4,09ns	3,65ns	14,97**	10,45**	0,12ns
DMS	2,04	2,24	2,89	0,23	0,43
C.V.	4,61	6,07	4,72	5,62	20,33
Inter. 1x2	0,88ns	0,11ns	0,44ns	1,00ns	0,53ns

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

Após cozimento do xarope, cristalização da sacarose, centrifugação e secagem do açúcar, este produto foi submetido à análises tecnológicas objetivando

determinar sua qualidade (Tabelas 2 e 3). Neste sentido, avaliando-se os produtos obtidos para as variedades estudadas, observou-se que a RB92579 apresentou os maiores valores de Pol e compostos fenólicos. Entretanto obteve menor pH, teor de cinzas, umidade e amido comparando com a RB867515. Admite-se que a variedade RB92579 apresenta elevados teores de compostos fenólicos, principalmente antocianina, os quais acabam sendo extraídos junto ao caldo (Oliveira, et al., 2011). Estas biomoléculas reagem com íons de ferro e o oxigênio do ar, formando compostos coloridos, os quais impactam negativamente no açúcar produzido (Simioni, et al., 2006). Entretanto, neste estudo, observou-se que, embora o açúcar produzido utilizando-se a variedade RB92759 tenha apresentado maior teor de compostos fenólicos, a cor do produto foi similar ao obtido para a variedade RB867515. Este fato pode estar associado ao processamento da matéria-prima em equipamentos de laboratório que por não conterem ferro na sua composição, provavelmente não desencadeou a reação mencionada. Deve-se considerar ainda que a moenda utilizada, que apresentava eficiência de extração de aproximadamente 60%.

O açúcar produzido a partir de tratamento de caldo utilizando-se polieletrólito sintético apresentou maior quantidade de amido em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). A presença deste polissacarídeo nos cristais de açúcar resultam na queda de qualidade do produto e, conseqüentemente, de seu preço de mercado, uma vez que pode afetar negativamente as indústrias de alimento que utilizam este açúcar como matéria-prima, por dificultar a filtração das soluções açucaradas (Oliveira, Esquiaveto e Silva Júnior, 2007). Deve-se ressaltar que a intensa mecanização no setor agrícola canavieiro no Brasil, proporcionou uma matéria-prima com maior quantidade de folhas e ponteiros da cana na fábrica, as quais se caracterizam pela grande quantidade desta molécula (Albuquerque, 2011). Neste contexto, a utilização de um produto que contribua para reduzir as características que depreciam o cristal de açúcar é de grande importância.

Analisando-se a umidade dos açúcares produzidos de diferentes variedades de cana, verificou-se que embora o produto originado do processamento da RB867515 apresentou maior quantidade de água nos cristais, os mesmos apresentaram menor teor de sacarose. Como consequência, verificou-se que os

coeficientes para o fator de segurança foram os mesmos, uma vez que para seu cálculo utiliza-se uma relação entre tais parâmetros (Tabela 2). O fator de segurança é imprescindível para a fábrica de açúcar, pois determinará o tempo de armazenamento que o produto pode ser submetido. Para o açúcar VHP, recomenda-se valores inferiores a 0,25 (Rein, 2012).

Tabela 2 - Valores médios obtidos para Pol, pH, Cinzas e Umidade do açúcar VHP produzido por diferentes auxiliares de sedimentação de duas variedades de cana-de-açúcar.

	Pol (°Z)	pH	Cinzas (%)	Umidade (%)	Fator Segurança
Testemunha	96,92A	6,29A	0,29A	0,32A	0,10A
Flomex 9076	96,60A	6,27A	0,30A	0,30A	0,09A
Extrato de Sementes	96,58A	6,15A	0,28A	0,31A	0,10A
Extrato de Folhas	97,26A	6,25A	0,25A	0,28A	0,11A
Teste F	0,88ns	0,43ns	0,48ns	0,52ns	0,30ns
DMS	1,33	0,36	0,11	0,10	0,05
RB92579	97,27A	6,03B	0,19B	0,26B	0,10A
RB867515	96,41B	6,45A	0,38A	0,34A	0,10A
Teste F	6,30*	19,64**	38,42**	8,45**	0,06ns
DMS	0,70	0,19	0,06	0,05	0,02
C.V.	1,00	4,29	30,20	24,09	35,65
Inter. 1x2	0,43ns	0,45ns	1,57ns	0,67ns	0,63ns

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

A seguir, avaliou-se as características químico-tecnológicas dos méis resultantes do processo de cozimento do xarope proveniente de caldo clarificado com diferentes flocculantes (Tabelas 4 e 5). A utilização de diferentes auxiliares de sedimentação na clarificação do caldo não refletiu na qualidade do mel final, pois os valores de brix, Pol, pureza, pH, compostos fenólicos e aminoácidos foram semelhantes entre os tratamentos Testemunha, Flomex 9076, Extrato de Folhas e Extrato de Sementes de Moringa. Comparando os méis produzidos a partir de duas diferentes variedades de cana-de-açúcar, observou-se apenas que a RB92579 apresentou, assim como no açúcar, maior quantidade de compostos fenólicos e menor pH em relação a RB867515. Considerando-se que os compostos fenólicos são inibidores do metabolismo de leveduras (Ravaneli, et al., 2011), caso o destino

destes subprodutos seja a indústria de etanol, o mel produzido a partir da variedade RB92579 pode ser considerado não recomendado em comparação ao mel produzido a partir da RB867515.

Tabela 3 - Valores médios obtidos para Cor, Compostos Fenólicos, Amido e Dextrana do açúcar VHP produzido por diferentes auxiliares de sedimentação de duas variedades de cana-de-açúcar.

	Cor (U.I.)	Compostos Fenólicos (mg.L⁻¹)	Amido (mg.L⁻¹)	Dextrana (mg.L⁻¹)
Testemunha	1208,47A	260,47A	211,21AB	45,32A
Flomex 9076	1331,00A	270,45A	259,30A	59,38A
Extrato de Sementes	1188,58A	263,62A	195,97B	34,47A
Extrato de Folhas	1011,54A	246,99A	169,58B	55,83A
Teste F	1,32ns	0,20ns	5,76**	1,75ns
DMS	445,39	85,78	61,20	33,05
RB92579	1257,26A	289,43A	192,30B	42,40A
RB867515	1112,53A	231,33B	225,73A	55,09A
Teste F	1,60ns	6,97*	4,53*	2,24ns
DMS	235,80	45,41	32,40	17,50
C.V.	27,26	23,89	21,24	49,17
Inter. 1x2	0,27ns	1,20ns	1,40ns	1,46ns

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

Tabela 4 - Valores médios obtidos para Brix, Pol e Pureza do mel produzido por diferentes auxiliares de sedimentação de duas variedades de cana-de-açúcar.

	Brix (%)	Pol (°S)	Pureza (%)
Testemunha	77,56A	52,57A	67,72A
Flomex 9076	76,25A	50,99A	66,92A
Extrato de Sementes	77,00A	50,79A	66,08A
Extrato de Folhas	76,43A	50,99A	66,72A
Teste F	0,44ns	0,45ns	0,18ns
DMS	3,47	4,80	6,07
RB92579	76,62A	50,30A	65,68A
RB867515	77,00A	52,37A	68,04A
Teste F	0,17ns	2,84ns	2,60ns
DMS	1,84	4,80	3,21
C.V.	3,28	6,78	6,59
Inter. 1x2	0,56ns	1,35ns	1,91ns

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

Tabela 5 - Valores médios obtidos para pH, Compostos Fenólicos e Aminoácidos do mel produzido por diferentes auxiliares de sedimentação de duas variedades de cana-de-açúcar.

	pH	Compostos Fenólicos (mg.L⁻¹)	Aminoácidos (g.L⁻¹)
Testemunha	5,40A	2804,32A	5,66A
Flomex 9076	5,37A	2654,09A	5,03A
Extrato de Sementes	5,37A	2638,46A	4,96A
Extrato de Folhas	5,43A	2748,24A	4,96A
Teste F	0,07ns	0,24ns	0,58ns
DMS	0,40	615,48	1,74
RB92579	5,18B	2975,45A	5,49A
RB867515	5,64A	2447,11B	4,81A
Teste F	22,98**	11,20**	2,29ns
DMS	0,21	325,85	0,92
C.V.	5,43	16,46	24,54
Inter. 1x2	2,61ns	0,44ns	0,58ns

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

4. CONCLUSÃO

A utilização de auxiliares de sedimentação naturais (*Moringa oleífera* Lam.) na clarificação do caldo, resultou em açúcar de melhor qualidade e mel de qualidade similar ao tratamento convencional.

O emprego da variedade de cana RB92579 como matéria-prima, promoveu açúcar de melhor qualidade e mel de pior qualidade em comparação com a RB867515.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J. 2009. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleífera* seed extract. *Journal of Hazardous Materials*, 164, p.713-719.

Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A.L. 2007. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleífera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 145, p.120–126.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. *Manual de métodos de análises para açúcar*. [CD-ROM] Piracicaba:Centro de Tecnologia Canavieira.

Ghasi, S., Nwobodo, E., Ofili, J.O. 2000. Hypcholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleífera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 69, p.21-25.

Honig, P. 1969. *Princípios de Tecnologia Azucareira*. Buenos Aires:Companhia Editorial Continental.

Lako, J., Trenerry, V.C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., Premier, R. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant

properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101, p.1727-1741.

Oliveira, M.W., Brighente, I.M.C., Colla, G., Aristides, E.V.S., Pereira, M.G., Associação Brasileira de Química, 2011. *51º Congresso Brasileiro de Química*. São Luís, Brasil, Outubro 2011, São Luís:ABQ.

Oliveira, D.T., Esquiaveto, M.M.M., Silva Junior, J.F. 2007. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, 27, pag.99-102.

Ravaneli, G.C., D. B. Garcia, L.L. Madaleno, M.A. Mutton, J.P. Stupiello e M.J.R. Mutton. 2011. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(2): 120-129.

Rein, P. 2012. *Cane Sugar Engineering*. 2. ed. Berlin:Bartens.

SCHWARZ, D. 2000. Water Clarification using *Moringa oleifera*. [online] GTZ-GATE. Disponível em: <http://www.gate-international.org/documents/techbriefs/webdocs/pdfs/w1e_2000.pdf>. [Acesso em: 23/01/2013].

Sengupta, M.E., Keraita, B., Olsen, A., Boateng, O.K., Thamsborg, S.M., Pálsdóttir, G.R., Dalsgaard, A. 2012. Use of *Moringa oleifera* seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. *Water Research*, 46, p.3646-3656.

Silva, F.A.S. E., Azevedo, C.A.V., American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. *VII Congress On Computers In Agriculture*. Reno, USA. Reno:ASABE

Simioni, K.R., Silva, L.F.L.F., Barbosa, V., RÉ, F.E.; Bernadino, C.P., Lopes, M. L., Amorim, H.V. 2006. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. *STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 24(3), p.36-39.

Sousa, T.O., Oliveira, G.L.S., Silva, R.A.C., Instituto Federal de Alagoas, 2010. *V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*. Maceió, Brasil, Novembro 2010. Maceió:IFAL.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar, 2011. *Perspectivas para os mercados de açúcar e etanol*. [online] Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/download/Marcos_Jank-Painel4.pdf>. [Acesso em: 23/01/2013].

Valente, L.C.M., Satolo, L.F., Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010. *48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Campo Grande, Brasil, Julho 2010. Campo Grande:SOBER.

Yemm, E.W., Cocking, E.C. 1955. The determination of amino acids with ninhydrin. *Analyst*. 80, p.209-213.

CAPÍTULO 5 - COMPOSTOS INORGÂNICOS DO CALDO E DO AÇÚCAR VHP PRODUZIDO A PARTIR DE CLARIFICAÇÃO COM MORINGA (*Moringa oleífera* Lam.)

Resumo O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da clarificação do caldo de cana utilizando extrato de folhas e sementes de moringa como auxiliares de sedimentação, nos compostos inorgânicos do caldo clarificado e do açúcar VHP produzido. O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 5x2 com quatro repetições. O primeiro fator correspondeu aos auxiliares de sedimentação: extrato de folhas e sementes de moringa, polieletrólito sintético Flomex 9076 e testemunha. O segundo fator correspondeu a duas variedades de cana-de-açúcar: RB92579 e RB867515. O caldo extraído foi clarificado através de defecação simples, concentrado até 60° brix e submetido ao processo de cozimento. No caldo original, clarificado e no açúcar produzido foram quantificados os teores de fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês e ferro. O processo de clarificação removeu os compostos inorgânicos, com exceção do cálcio, removido apenas para o tratamento em que se utilizou extrato de folhas de moringa. O extrato de folhas e sementes de moringa foram eficazes no tratamento de caldo destinado à produção de açúcar com menor teor de cálcio e ferro. O extrato de folhas foi o auxiliar de sedimentação mais eficaz comparado aos demais estudados.

Palavras-chave defecação simples · qualidade · polieletrólito · nutrientes · cristalização · sacarose

1. Introdução

A cana-de-açúcar é cultivada em todo o mundo, apresentando uma produção de aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas no ano de 2009 (SBI 2013), que processados resultaram em 150 milhões de toneladas de açúcar (ILLOVO 2011).

Para a unidade industrial, a matéria-prima deve atender a uma conjunção de parâmetros tecnológicos e microbiológicos, as quais são constituintes ativos da qualidade. Os principais fatores de qualidade são cultivar da cana, meio ambiente, pragas, doenças e planejamento agrícola (plantio, maturação e o manejo da colheita) (Mutton e Mutton 1992).

Os efeitos qualitativos destes fatores isolados ou associados podem aumentar a quantidade de biomoléculas prejudiciais a indústria sucroalcooleira como, por exemplo, os compostos fenólicos, os quais aumentam a cor do caldo extraído e consequentemente a do açúcar produzido (Borges et al. 2012), além de serem inibidores da levedura no processo de fermentação (Ravaneli et al. 2011).

Tais compostos, que acabam por serem constituintes da matéria-prima assim como sais minerais e impurezas vegetais, devem ser retirados do caldo quando se objetiva a produção de açúcar de qualidade, atendendo as especificações do mercado. O processo industrial responsável pela purificação é o tratamento de caldo.

Atualmente este pode ser realizado por defecação simples, sulfodefecação, carbonatação, ozonização, dentre outros. Em todos estes processos, as impurezas são removidas através de precipitação resultantes da reação entre fosfatos presentes no caldo e insumos adicionados (Rein 2012). Afim de acelerar o processo de sedimentação destes compostos, são adicionados polieletrólitos catiônicos ou

aniônicos que reagem com os coágulos formados, resultando em flocos de peso e tamanho maiores que, conseqüentemente, se precipitam mais rapidamente (Doherty 2011).

O caldo clarificado de qualidade deve apresentar teores mínimos de compostos orgânicos e inorgânicos sem que ocorra a remoção, precipitação ou destruição de açúcares. Quantidades elevadas podem favorecer a retenção na superfície do cristal de açúcar, reduzindo sua qualidade e o valor comercial do mesmo.

A presença de compostos inorgânicos no açúcar, embora possa ser considerado nutricionalmente favorável ao consumo humano, é prejudicial quando se considera seu emprego nas indústrias como matéria-prima para produção de refrigerantes, balas, remédios, cosméticos, entre outros (Oliveira et al. 2007).

A presença de sais no açúcar é considerada negativa para refinarias, pela presença de sódio, potássio, cálcio, e magnésio, que comprometem a cristalização da sacarose (Rein 2012). Deve-se considerar ainda seu efeito na redução do ciclo de operação de filtros (Oliveira et al. 2007).

O ferro é um composto cuja presença pode desencadear o amarelecimento do cristal de açúcar, através da reação deste com oxigênio do ar e compostos fenólicos presentes. O resultado deste processo é a desqualificação do produto e consequente desvalorização comercial (Simioni et al. 2006).

Embora a importância destas informações seja indiscutível, a literatura não dispõe de relatos contemplando a utilização de novos produtos que possam remover tais compostos inorgânicos.

Deve-se considerar ainda o novo paradigma para a utilização de produtos originados de fontes naturais, tais como plantas que podem ser cultivadas nas próprias áreas agrícolas da agroindústria, reduzindo custos, agregando valor ao açúcar produzido, não gerando resíduos poluentes ao ambiente.

Neste contexto, destaca-se os extratos de folhas e sementes de moringa (*Moringa oleífera* Lam.) Tais compostos são utilizados desde tratamentos medicinais até o tratamento de águas de efluentes contaminados, neste caso visando a substituição de coagulantes inorgânicos, tais como o sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio (Bhuptawat et al. 2006).

A eficiência com que os extratos desta planta conseguem remover, por precipitação, as impurezas presentes na água, direcionaram estudos para o desenvolvimento de um produto que possa substituir os polieletrólitos utilizados atualmente como floculantes secundários das impurezas do caldo de cana.

Desta maneira o objetivo do trabalho foi avaliar os reflexos provocados pela adição de extrato de folhas e sementes de moringa como auxiliares de sedimentação na clarificação do caldo de cana, variedades RB92579 e RB867515, sobre os teores de compostos inorgânicos no caldo clarificado e nos cristais de açúcar VHP produzido.

2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP, safra 2011/2012.

O delineamento experimental foi fatorial de 5x2 com quatro repetições. O primeiro fator correspondeu aos diferentes auxiliares de sedimentação utilizados para a clarificação do caldo: extrato de folhas e sementes de moringa, polieletrólito sintético Flomex 9076 e testemunha. O segundo fator correspondeu à duas variedades de cana-de-açúcar: RB92579 e RB867515, cultivadas na região de Jaboticabal-SP.

O extrato de folhas foi preparado segundo metodologia descrita por Ghasi et al. (2000) e o de sementes segundo Bathia et al. (2006). Estes foram aplicados nas concentrações de 5 mg.L⁻¹ e 100 mg.L⁻¹ respectivamente. Tais dosagens foram estabelecidas através da realização de ensaios preliminares.

As variedades de cana foram colhidas em seu ponto de maturação e submetidas à extração do caldo por moenda de laboratório. No caldo extraído, foram adicionados 300 mg.L⁻¹ de ácido fosfórico e, posteriormente, hidróxido de cálcio 6ºBé até pH 7.0±0.1. O caldo dosado foi aquecido até a fervura (100-105°C) e disposto em proveta de 1L já contendo os auxiliares de sedimentação, em sistema de decantação, para sedimentação das impurezas. O caldo clarificado foi coletado após 20 minutos de repouso e filtrado em papel de filtro Qualy (18,5cm de diâmetro e 14µm de porosidade) para efetiva separação do lodo (CTC 2005).

O caldo clarificado foi concentrado até 60° brix em rotoevaporador de simples efeito, originando o xarope. Este foi submetido a cozimento em cozedor piloto em sistema de uma massa. O cozimento foi mantido em temperatura de 61±2.0°C na zona metaestável de supersaturação, sendo a nucleação realizada pelo processo de sementes .

Após cristalização da sacarose, a massa cozida foi centrifugada a 6300g por 5 minutos, com lavagem inicial dos cristais com vapor a 1kgf/cm². O açúcar foi seco primeiramente em secador de fluxo de ar quente e, posteriormente, em estufa à 35°C por 12 horas.

Ao longo deste processo avaliou-se o teor de fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês e ferro, no caldo extraído, clarificado e no açúcar obtido. A quantificação deste compostos foi realizada através de espectrofotometria de absorção atômica segundo AOAC (1997).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F e as médias comparadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (Silva e Azevedo 2009).

3. Resultados e Discussões

Primeiramente, quantificou-se o teor de fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês e ferro para o caldo original e clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação, para duas variedades de cana-de-açúcar (Figura 1 e Tabela 1).

Avaliando-se o teor de cálcio presente no caldo clarificado, observou-se que para o tratamento convencional (Flomex 9076), a concentração deste no caldo clarificado da variedade RB92579 foi a mesma em relação ao caldo extraído. Para o caldo da RB867515, verificou-se acréscimo dos valores. Considerando-se que no processo de clarificação adiciona-se este elemento, que atua como agente coagulante (Doherty 2011), observa-se que os teores de determinados no caldo clarificado são elevados. A utilização de extrato de folhas de moringa como auxiliar

de sedimentação foi o tratamento mais eficiente para manter baixos níveis deste elemento no caldo clarificado para as duas variedades estudadas. Provavelmente, tal produto adsorveu ou até mesmo reagiu com os íons de cálcio livres em solução, precipitando-os e eliminando-os no lodo formado. A redução deste elemento é de grande importância para a tecnologia açucareira, uma vez que o cálcio pode ficar retido no cristal de açúcar, além de ser precursor de incrustações em evaporadores (Delgado e Cesar 1977).

Para o potássio, observou-se comportamento diferente para ambas variedades. O tratamento do caldo não reduziu potássio no caldo clarificado da variedade RB92579, sendo que para o caldo da variedade RB867515 observou-se redução significativa. Tais resultados estão em desacordo com os apresentados por Honig (1969), o qual afirma que o potássio não é removido após clarificação. Deve-se ressaltar que a redução deste elemento é importante para o processo de produção de açúcar, uma vez que o potássio aumenta a solubilidade da sacarose, promovendo a maior formação de méis. Ao mesmo tempo, este pode ficar retido nos cristais, aumentando o teor de cinzas (Albuquerque 2011).

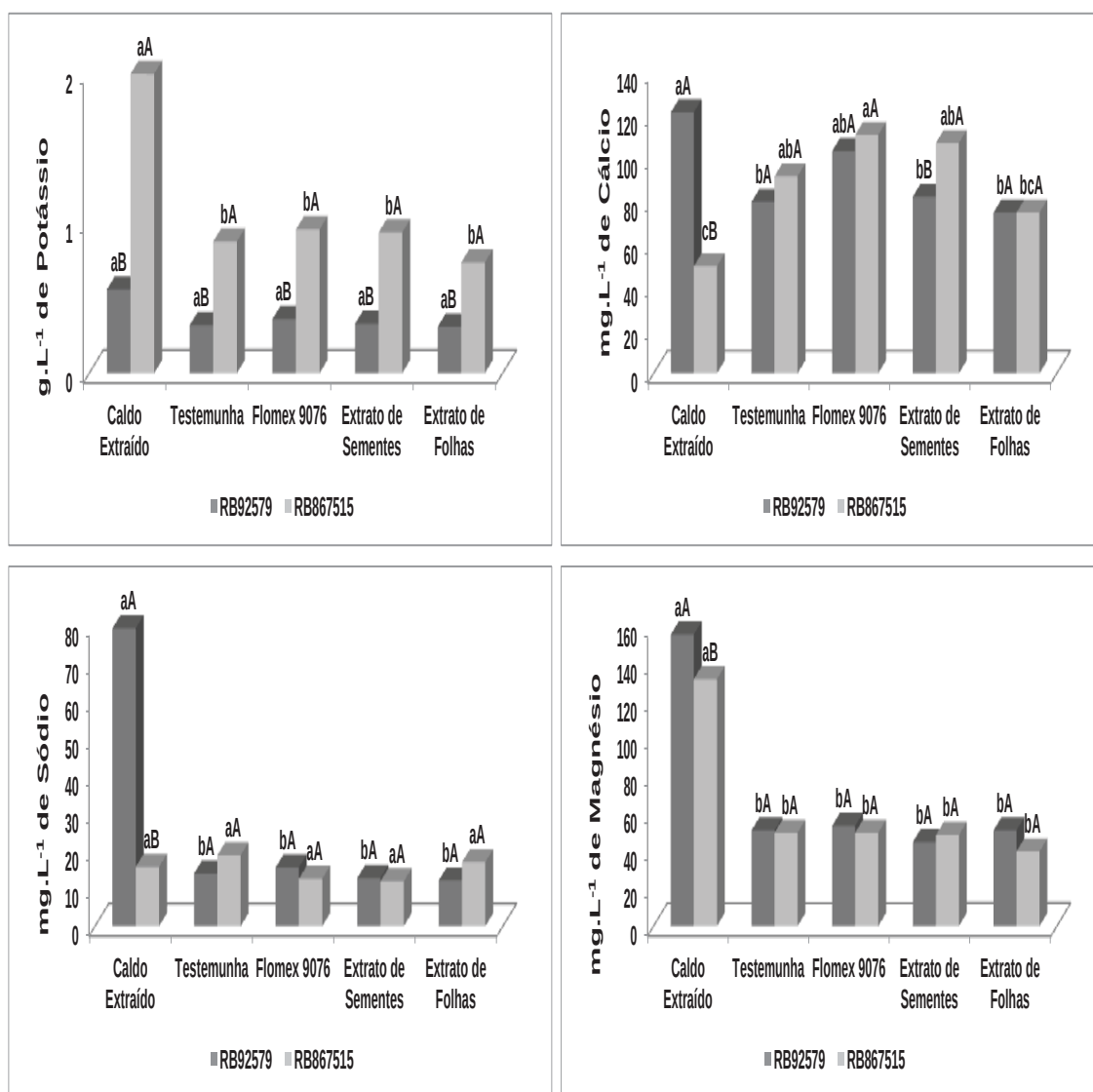


Fig. 1 Representação para interação entre potássio, cálcio, sódio e magnésio, contidos no caldo extraído e clarificado, empregando-se diferentes auxiliares de sedimentação e duas variedades de cana-de-açúcar. Letras minúsculas comparam tratamentos principais e letras maiúsculas comparam tratamentos secundários.

Assim como observado para o potássio, a concentração de sódio no caldo clarificado variou para a RB92579 e RB867515. O processo de clarificação não foi eficiente para remover o sódio quando se utilizou caldo da variedade RB867515, enquanto que para a variedade RB92579 houve redução. Albuquerque (2011)

admite que o sódio apresenta o mesmo comportamento que o potássio durante a produção de açúcar.

Reduções significativas foram observadas para os teores de magnésio, manganês e ferro no caldo clarificado com os auxiliares de sedimentação e as variedades de cana estudadas. Estes resultados corroboram com os relatos de Delgado e Cesar (1977)

Tabela 1 Valores médios observados para manganês e ferro no caldo original e clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação, para duas variedades de cana-de-açúcar.

	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)
Caldo Extraído	3.90A	5.18A
Testemunha	0.12B	0.06B
Flomex 9076	0.10B	0.20B
Extrato de Sementes	0.12B	0.25B
Extrato de Folhas	0.12B	0.06B
Teste F	312.02**	173.99**
DMS	0.39	0.70
RB92579	0.80A	1.12A
RB867515	0.94A	1.18A
Teste F	2.57 ^{ns}	0.18 ^{ns}
DMS	0.17	0.31
C.V.	30.95	42.00
Inter. 1x2	2.60 ^{ns}	0.37 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários.

Após cozimento do xarope produzido a partir dos caldos clarificados com diferentes auxiliares de sedimentação, para ambas variedades de cana, quantificou-se os teores de potássio, magnésio, manganês, ferro, cálcio e sódio nos açúcares obtidos (Tabela 2 e Figura 2).

Avaliando-se os teores de potássio, sódio e magnésio presentes nos cristais, observou-se que o açúcar proveniente de caldos clarificados com extratos de moringa apresentaram quantidades iguais destes elementos em relação ao tratamento convencional (Flomex 9076). Deve-se destacar que o açúcar proveniente de caldo da variedade RB867515 apresentou maior teor de potássio em relação a RB92579.

Para o teor de ferro, verificou-se maior quantidade quando se utilizou Flomex 9076. A presença de ferro no açúcar promove aumento de cor, uma vez que este é constituinte fundamental da reação entre compostos fenólicos e oxigênio do ar. O amarelecimento do açúcar compromete a qualidade do produto obtido (Rein 2012).

Avaliando-se o teor de cálcio nos cristais, observou-se menores concentrações para os açúcares obtidos a partir de caldos clarificados com extratos de folhas e sementes de moringa. Segundo Oliveira et al. (2007), a presença de cálcio no açúcar resulta no aumento de cinzas, impactando negativamente o processamento nas refinarias, indústrias de alimentos, cosméticos e fármacos (Oliveira et al. 2007). Admite-se ainda que elevadas quantidades de cálcio no açúcar pode resultar na presença de flocos em refrigerantes, que prejudicam a qualidade e o aspecto da bebida. Neste contexto, deve-se destacar o efeito benéfico resultante da ação dos extratos de folhas e sementes de moringa.

Deve-se destacar que não foi detectada presença de manganês nos açúcares.

Tabela 2 Valores médios observados para fósforo, potássio, magnésio, manganês e ferro no açúcar produzido a partir de clarificação utilizando diferentes auxiliares de sedimentação, para duas variedades de cana-de-açúcar.

	K (g/Kg)	Mg (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)
Testemunha	0.99A	84.37A	Lim	7.18B
Flomex 9076	0.93A	87.50A	Lim	8.31A
Extrato de Sementes	0.91A	71.87A	Lim	7.93AB
Extrato de Folhas	0.68A	62.50A	Lim	7.93AB
Teste F	2.03 ^{ns}	2.56 ^{ns}	-	2.85 ^{ns}
DMS	0.36	28.14	-	5.81
RB92579	0.42B	71.87A	Lim	9.56A
RB867515	1.34A	81.25A	Lim	8.71A
Teste F	94.72**	1.68 ^{ns}	-	16.20**
DMS	0.19	14.90	-	3.08
C.V.	30.03	26.66	-	10.08
Inter. 1x2	2.10 ^{ns}	1.81 ^{ns}	-	2.00 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter. 1x2 = interação entre os tratamentos principais e secundários. Lim: Abaixo de limite de detecção do método/aparelho.

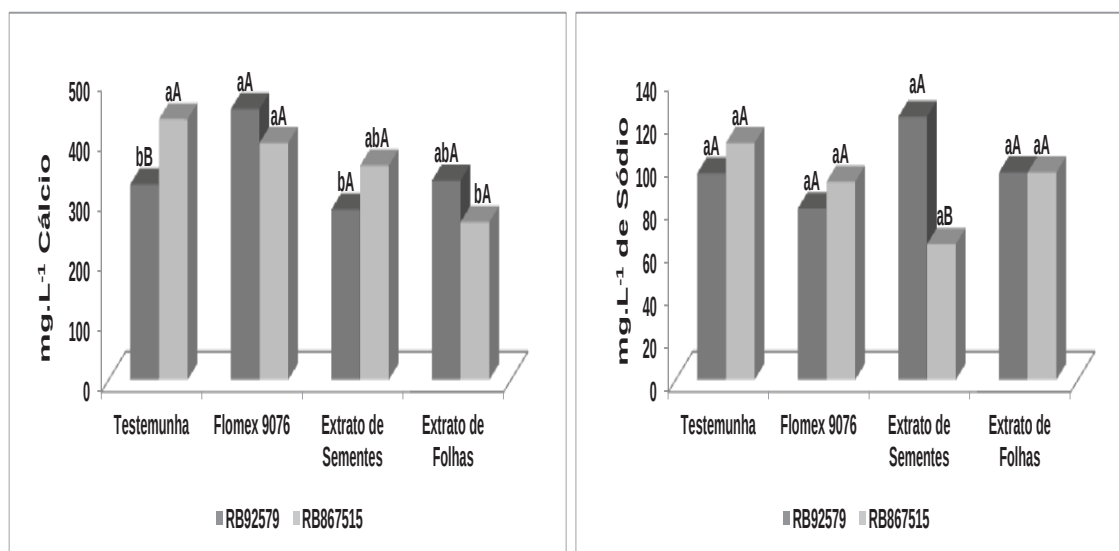


Fig. 2 Representação para a interação entre sódio e magnésio presente no açúcar produzido a partir de clarificação do caldo empregando diferentes auxiliares de sedimentação para duas variedades de cana-de-açúcar. Letras minúsculas comparam tratamentos principais e letras maiúsculas comparam tratamentos secundários.

4. Conclusão

O extrato de folhas de moringa utilizado com auxiliar de sedimentação no processo de clarificação do caldo, é eficiente para remover maior teor de cálcio no caldo clarificado e no açúcar produzido.

As variedades de cana-de-açúcar, RB92579 e RB867515, apresentam comportamentos diferentes quanto a remoção de potássio, cálcio, sódio e magnésio pelo processo de clarificação.

5. Referências

Albuquerque, Fernando Medeiros. 2011. Processo de fabricação do açúcar. 3ed. Recife:Editora Universitária UFPE.

AOAC - Association of Official Agricultural Chemists. 1997. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. 16.ed. Washington: AOAC.

Bhatia, S., Z. Othman e A.L. Ahmad. 2007. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials* 145: 120-126.

Bhuptawat, H., G.K. Folkard e S. Chaudhari. 2006. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials* 142: 477–482.

Borges, E.P., M.L. Lopes e H. Amorim. 2012. Impact of sugarcane juice chemical composition on clarification and VHP sugar quality. *International Sugar Journal* 144(1036): 552-558.

Delgado, A.A. e M.A.A. Cesar. 1977. Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana. v.2. Sertãozinho: Zanini.

Doherty, W.O.S. 2011. Improved Sugar Cane Juice Clarification by Understanding Calcium Oxide-Phosphate-Sucrose Systems. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry* 59: 1829-1836.

Ghasi, S., E. Nwobodo e J.O. Ofili. 2000. Hypcholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology* 69: 21-25.

Honig, Pieter. 1969. Princípios de Tecnologia Azucareira. v.1. Mexico:Companhia Editorial Continental.

ILLOVO. International Sugar Statistics. Disponível em:
<http://www.illovo.co.za/World_of_sugar/Sugar_Statistics/International.aspx>.
Acesso em: 02/11/2011.

Mutton, M.J.R. e M.A. Mutton. 1992. Aguardente de cana - produção e qualidade. Jaboticabal:FUNEP.

Oliveira, D.T., M.M.M. Esquiaveto e J.F. Silva Jr. 2007. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. *Ciência Tecnologia de Alimentos* 27: 99-102.

Ravaneli, G.C., D. B. Garcia, L.L. Madaleno, M.A. Mutton, J.P. Stupiello e M.J.R. Mutton. 2011. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(2): 120-129.

Rein, Pieter. 2012. Cane Sugar Engineering. 2ed. Berlin:Bartens.

SBI - Sugarcane Breeding Institute. World Sugarcane Institute. Disponível em: <http://www.sugarcane.res.in/images/sbi/charts/world_sugarcane_scenario.pdf?phpMyAdmin=11c501a2a5dt8788ed6>. Acesso: 29/01/2013.

Silva, F.A.S. e C.A.V. Azevedo. 2009. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In World Congress on Computers in Agriculture, Reno.

Simioni, K.R., L.F.L.F. Silva, V. Barbosa, F.E. Ré, C.P. Bernadino, M.L. Lopes e H.V. Amorim. 2006. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. *STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos* 24(3): 36-39.

APÊNDICE

Tabela 1 - Valores médios de Brix, Açúcares Redutores Totais e Cinzas do caldo extraído e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar, com diferentes auxiliares de sedimentação.

	Brix (%)	ART (%)	Cinzas (%)
Caldo Extraído	22,8A	19,6A	0,51A
Testemunha	22,2A	20,0A	0,55A
Flomex 9076	21,8A	19,3A	0,59A
Extrato de Sementes	21,7A	19,1A	0,56A
Extrato de Folhas	21,4A	17,6A	0,50A
Teste F	0,44 ^{ns}	0,87 ^{ns}	2,49 ^{ns}
DMS	3,37	4,00	0,09
RB92579	21,97A	18,25B	0,38B
RB867515	22,11A	20,07A	0,71A
Teste F	0,03 ^{ns}	4,33*	239,06**
DMS	1,49	1,78	0,04
C.V.	10,52	14,39	12,51
Inter. TxV	1,26 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,79 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter TxV: Interação entre Floculantes e Variedades.

Tabela 2 - Valores médios de Compostos Fenólicos Totais, Cor, Aminoácidos e Proteínas do caldo extraído e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar, com diferentes auxiliares de sedimentação.

	Compostos Fenólicos (ppm)	Cor (U.I.)	Aminoácidos (umol/mL)	Proteínas (mg/L)
Caldo Extraído	580,1AB	11.701A	209,08A	93,86A
Testemunha	479,0C	10.316AB	304,73A	39,55B
Flomex 9076	623,1A	9.4060B	288,19A	35,21B
Extrato de Sementes	546,9ABC	9.069B	281,63A	45,02AB
Extrato de Folhas	513,7BC	8.919B	237,89A	34,30B
Teste F	5,34**	8,59**	2,31 ^{ns}	4,40**
DMS	99,81	1.615,58	106,86	49,18
RB92579	637,54A	12.679,65A	378,28A	44,36A
RB867515	459,65B	7.085,81B	150,33B	54,81A
Teste F	67,05**	253,13**	96,08**	0,95 ^{ns}
DMS	44,39	718,78	47,52	21,87
C.V.	12,52	11,25	27,82	40,85
Inter. TxV	1,32 ^{ns}	2,38 ^{ns}	3,65*	0,47 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter TxV: Interação entre Floculantes e Variedades.

Tabela 3 - Valores médios de Acidez Total, Acidez Fixa, Acidez Volátil e Dextrana do caldo extraído e clarificado de duas variedades de cana-de-açúcar, com diferentes auxiliares de sedimentação.

	Acidez Total (gH ₂ SO ₄ /L)	Acidez Fixa (mg H ₂ SO ₄ /L)	Acidez Volátil (mg Ácido Acético/L)	Dextrana (ppm)
Caldo Extraído	0,41A	18,22A	26,63A	112,01A
Testemunha	0,16B	8,50B	12,55B	54,43B
Flomex 9076	0,14B	11,24AB	7,70B	37,74B
Extrato de Sementes	0,14B	7,45B	9,47B	68,02AB
Extrato de Folhas	0,14B	9,86B	7,78B	29,21B
Teste F	72,96**	5,73**	44,11**	6,60**
DMS	0,05	7,29	4,92	52,14
RB92579	0,18B	8,73B	14,27A	74,74A
RB867515	0,21A	13,38A	11,39B	45,71B
Teste F	6,41*	8,55**	7,20*	6,54*
DMS	0,02	3,24	2,19	23,18
C.V.	19,59	19,97	26,44	24,96
Inter. TxV	8,92**	9,37**	46,16**	5,52**

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%. Inter TxV: Interação entre Floculantes e Variedades.