

**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 E ETANOL**

Gustavo Henrique Gravatim Costa

Tecnólogo em Biocombustíveis

2015

**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 E ETANOL**

Gustavo Henrique Gravatim Costa

Orientador: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

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

2015

Costa, Gustavo Henrique Gravatim
C837e Emprego do extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lamarck) na
clarificação do caldo de cana para produção de açúcar e etanol /
Gustavo Henrique Gravatim Costa. – – Jaboticabal, 2015
x, 128 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton
Banca examinadora: José Paulo Stupiello, Leonardo Lucas
Madaleno, Raul Andrés Martínez Uribe, Flávia Cecílio Ribeiro
Bibliografia

1. Caleagem simples. 2. Cristalização. 3. Bioenergia. 4. Setor
sucroenergético. 5. Polieletrólito. 6. Acrilamida. 7. S-Albumina. 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.

CERTIFICADO DE APROVACAO

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 Federal de São Carlos em março de 2011, concluindo em março de 2013. Em março de 2011 ingressou no programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, em nível de mestrado da FCAV - UNESP, obtendo o título de Mestre em fevereiro de 2013. Em abril de 2013 ingressou no programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, em nível de doutorado da FCAV – UNESP, obtendo o título de Doutor em dezembro em 2015. Em agosto de 2015 iniciou atividades como Professor Auxiliar I no curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade do Sagrado Coração, Bauru-SP.

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 Destilaria Santa Clara pela colaboração em fornecer cana-de-açúcar para a elaboração deste experimento.

A Acquisugar pela cessão do floculante Acácia Negra.

A Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal (FATEC Jab) pela disponibilização de equipamentos para realização de parte das análises do projeto.

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

A toda equipe do laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, nas pessoas de: Cristhyane, Franciele, Lidyane, Juliana Roviero, Vitor, Sérgio, Osania, Nayara Montijo, Aline, Rita, Marcel, Letícia, Mateus Valle, Matheus Irene, Welton, Silvia.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Produção de açúcar.....	13
2.1.1 Cultivo da cana-de-açúcar.....	13
2.1.2 Recepção, preparo e extração do caldo.....	14
2.1.3 Tratamento do caldo para produção de açúcar.....	16
2.1.3.1 Caleagem.....	17
2.1.3.2 Sulfitação.....	18
2.1.3.3 Aquecimento e balão de flash.....	19
2.1.3.4 Polieletrólito sintético.....	20
2.1.3.5 Acácia negra (<i>Acacia mearnsii</i>).....	20
2.1.4 Química da clarificação do caldo.....	21
2.1.4.1 Impacto do tratamento de caldo sobre os compostos orgânicos	22
2.1.4.2 Impacto do tratamento de caldo sobre os compostos	
inorgânicos.....	21
2.1.5 Cristalização da sacarose.....	32
2.1.6 Critérios da qualidade do açúcar.....	35
2.2 Produção de etanol.....	37
2.2.1 Tratamento do caldo para produção de etanol.....	37
2.2.2 Preparo do mosto.....	38
2.2.3 Fermentação etanólica.....	39
2.3 <i>Moringa oleífera</i> Lamarck.....	41
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1 Instalação do experimento.....	44
3.2 Preparo e caracterização dos extratos de moringa.....	45

3.3 Teste de dosagem.....	46
3.3.1 Processo de clarificação.....	46
3.3.2 Caracterização dos caldos extraídos e clarificados.....	48
3.4 Comparação entre os floculantes.....	48
3.5 Tratamento do caldo.....	48
3.6 Qualidade do Açúcar.....	49
3.7 Produção de etanol.....	51
3.7.1 Delineamento experimental.....	51
3.7.2 Tratamento do caldo para a produção de etanol.....	51
3.7.3 Preparo e caracterização dos mostos.....	51
3.7.4 Processo fermentativo.....	51
3.8 Análise dos dados.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Caracterização dos extratos.....	53
4.1.1 Diferentes molaridades dos sais sobre o teor de proteínas.....	53
4.1.2 Caracterização dos extratos.....	54
4.1.3 Caracterização da proteína da moringa.....	56
4.2 Teste de dosagem e análises do caldo clarificado.....	58
4.2.1 Qualidade do caldo de cana.....	58
4.2.2 EBK.....	59
4.2.3 EBC.....	64
4.2.4 EBM.....	64
4.2.5 EBA.....	66
4.2.6 Extrato de Folhas.....	68
4.3 Comparação entre os floculantes.....	71
4.4 Produção de açúcar.....	74
4.4.1 Qualidade do caldo extraído.....	74
4.4.2 Tratamento do caldo.....	76
4.5 Qualidade do açúcar.....	89
4.5.2 Caracterização do melaço.....	98
4.6 Produção de etanol.....	100
4.6.1 Caracterização do mosto.....	100

4.6.2 Processo fermentativo.....	102
4.6.3 Caracterização do vinho.....	108
5. CONCLUSÃO.....	112
6. REFERÊNCIAS.....	114
APENDICE.....	124

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

RESUMO - Atualmente há crescente demanda do mercado consumidor de alimentos por produtos cada vez mais seguros à saúde humana. Entre estes, destaca-se o açúcar, que é amplamente consumido pela população mundial. Durante o processo de produção, são adicionados polieletrólitos sintéticos a base de acrilamida, objetivando a rápida sedimentação de impurezas presentes no caldo de cana durante a etapa de clarificação. Considerando-se que a molécula constituinte deste insumo pode ficar retido no cristal de açúcar, sua utilização deve ser controlada, uma vez que apresenta ações cancerígenas e neurotóxicas ao ser humano. Neste contexto, destacam-se o biomoléculas naturais que apresentam ação coagulante, como a proteína presente nas folhas e sementes da moringa. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o os reflexos do emprego de extratos de folhas e sementes de moringa, como auxiliares de sedimentação na clarificação do caldo de cana, na produção de açúcar e etanol. O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool da FCAV/UNESP. O experimento foi realizado em 6 etapas. A primeira foi constituída pelo estudo de técnicas de extração da proteína presente na semente. Na segunda, realizou-se caracterização da proteína extraída. A terceira etapa derivou do teste de diferentes dosagens dos extratos na clarificação do caldo. A seguir realizou-se experimento comparativo entre os extratos de sementes e folhas de moringa, com floculante sintético comercial, floculante orgânico comercial, e tratamento testemunha, caracterizando-se o processo de clarificação do caldo e qualidade do açúcar produzido. A última etapa foi constituída pelo uso do melaço residual da produção de açúcar e de caldo clarificado com os 5 floculantes, como substrato para a produção de etanol. Observou-se que a utilização de solução a base de CaCl_2 0,1mol/L resultou em maiores extrações de proteínas em comparação ao uso de soluções a base de KCl, MgCl_2 e somente água destilada. Caracterizando-se a proteína da semente, verificou-se peso molecular inferior a 14KDa e duas diferentes biomoléculas presentes no extrato. Avaliando-se diferentes doses, determinou-se os valores de 100, 250, 500, 1300mg/L para os extratos a base de MgCl_2 , água, KCl e CaCl_2 , respectivamente; sendo que no teste de comparação entre estes, o extrato a base de CaCl_2 , apresentou os melhores resultados. De modo geral, os floculantes não apresentam influência direta sobre as características do açúcar produzido, e sobre o processo fermentativo. Conclui-se que o extrato de sementes de moringa pode ser utilizado como floculante do caldo de cana para produção de açúcar e etanol.

Palavras-chave: caleagem simples, cristalização, bioenergia, setor sucroenergético, polieletrólito, acrilamida, s-albumina

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

ABSTRACT - There are currently increasing demands of the consumer market for food products ever safer to human health. Among these, it stands out sugar, which is widely consumed by the world population. During the production process, synthetic polyelectrolytes are added to the acrylamide-based, aimed at rapid sedimentation of impurities present in the juice of sugar cane during the clarification step. Considering that the constituent molecule of this input may be trapped in the crystal sugar, its use should be controlled, as it features carcinogenic and neurotoxic actions to humans. In this context, we highlight the natural biomolecules that have coagulant action, as this protein in the leaves and seeds of Moringa. In this sense, the objective of this study was to evaluate the reflections of leaf extracts of employment and moringa seeds, such as sedimentation aids in clarifying sugarcane juice, the sugar and ethanol. The experiment was carried out in Sugar Technology Laboratory and Alcohol FCAV/UNESP. The experiment was carried out in 6 steps. The first study was set up by extraction techniques of protein present in the seed. The second was held characterization of the extracted protein. The third step of the test derived from different dosages of the extracts in clarifying the broth. The following comparative experiment was carried out between extracts of seeds and moringa leaves with commercial synthetic flocculant, commercial organic flocculant, and control treatment, characterizing the process of clarifying the broth and quality of the sugar produced. The last step was formed by the use of the residual molasses from sugar production and clarified broth with 5 flocculants, as a substrate for ethanol production. It was observed that using the base solution of CaCl_2 0.1 mol/L resulted in higher protein extraction compared to the use of solutions based KCl, MgCl_2 and only distilled water. Characterised seed protein, it was found molecular weight less than 14KDa and two different biomolecules present in the extract. Evaluating different doses, values were determined in 100, 250, 500, 1300mg/L for extracts the base MgCl_2 , water, KCl and CaCl_2 , respectively; wherein the comparison test among these, the extract CaCl_2 base, showed the best results. In general, the flocculants have no direct influence on the characteristics of the produced sugar, and the fermentation process. We conclude that the moringa seed extract can be used as flocculant of sugarcane juice to produce sugar and ethanol.

Keywords: simple defecation, crystallization, bioenergy, sucro-energetyc sector, polyelectrolyte, acrylamide, s-albumin

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Composição tecnológica do caldo de cana-de-açúcar.....	14
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.....	24
Figura 3 - A- Solubilidade da sacarose pura em água em função da temperatura. B – Esquema de cozimento de 3 massas.....	35
Figura 4 - Processo de clarificação do caldo de cana em escala laboratorial.....	47
Figura 5 - Processo de produção de açúcar em escala laboratorial.....	50
Figura 6 - Perfil de cromatografia de troca catiônica em coluna Mono S™ 5/50 GL. Linha azul e verde representa a absorção de luz em 280 nm (UV) e a concentração de sal respectivamente.....	57
Figura 7 - SDS-PAGE gel de poliacrilamida 12,5% corado com Coomassie Brilliant Blue das amostras referentes aos picos da cromatografia de troca catiônica. M; padrão de massas moleculares (kDa), 1b a 8b as frações correspondentes aos picos 1b a 8b da figura 2. Poço 5b a 8b representa a proteína de interesse.....	57
Figura 8 – Perfil de cromatografia de exclusão molecular em coluna Superdex G 75 10/300 GL. Linha azul representa a absorção de luz em 280 nm (UV).....	57
Figura 9 – Interação entre Variedades de cana e Floclulantes para o parâmetro Velocidade de Sedimentação. Letras minúsculas comparam variedades. Letras maiúsculas comparam floclulantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	77
Figura 10 – Interação entre Variedades de cana e Floclulantes para o parâmetro Volume de Lodo. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floclulantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	78
Figura 11 – Interação entre Variedades de cana e Floclulantes para o parâmetro Acidez Total do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floclulantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	82
Figura 12 – Interação entre Variedades de cana e Floclulantes para o parâmetro Compostos Fenólicos Totais (CFT) do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floclulantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	84
Figura 13 – A- Interação entre Variedades de cana e Auxiliares de Sedimentação para o parâmetro Cor do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. B – Açúcares obtidos a partir de 3 variedades de cana e 5 auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	86
Figura 14 – Interação entre Variedades de cana e Floclulantes para o parâmetro Cinzas do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam	

variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	90
Figura 15 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Cor do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	92
Figura 16 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Pol do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	93
Figura 17 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Umidade do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	95
Figura 18 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Compostos Fenólicos Totais do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes.....	96
Figura 19 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro pH do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	96
Figura 20 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Cinzas do melaço. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	99
Figura 21 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para os Açúcares Redutores Totais do Mosto obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar.	102
Figura 22 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para o Brotamento Inicial da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	103
Figura 23 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para a Viabilidade de Brotos do Início da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar.....	105
Figura 24 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para a Viabilidade Celular Final da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	108
Figura 25 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para o Brotamento Final da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	108
Figura 26 – Interação entre Floculantes, Mostos e Variedades para o Teor Alcoólico do vinho obtido a partir de fermentação de mostos preparados a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar.....	111

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Resultados médios obtidos para o teor de proteínas dos extratos de KCL, CaCl_2 e MgCl_2 nas concentrações de 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 mol/L.....	53
Tabela 2 - Resultados obtidos para as análises de Brix, pH, Cinzas Solúveis, Compostos Fenólicos Totais e Proteínas Totais dos extratos brutos de CaCl_2 , KCl, MgCl_2 e Água.....	54
Tabela 3 - Resultados obtidos para as análises de Sódio, Ferro, Manganês, Zinco, Cobre, Potássio, Cálcio e Magnésio do extrato bruto de CaCl_2 0,1mol/L.....	55
Tabela 4 - Resultados obtidos para as análises de Brix, Pol, Pureza, Acidez Total, pH, Turbidez e Cinzas do caldo de cana obtido da variedade RB855536.....	58
Tabela 5 - Resultados obtidos para as análises de Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) do caldo de cana obtido da variedade RB855536.....	58
Tabela 6 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato KCl.....	60
Tabela 7 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato KCl.....	60
Tabela 8 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato KCl.....	61
Tabela 9 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato CaCl_2	63
Tabela 10 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato CaCl_2	63
Tabela 11 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato CaCl_2	64
Tabela 12 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato MgCl_2	65
Tabela 13 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato MgCl_2	66
Tabela 14 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato H_2O	67
Tabela 15 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato H_2O	67
Tabela 16 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato H_2O	68
Tabela 17 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e	

Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.....	69
Tabela 18 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.....	70
Tabela 19 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.....	71
Tabela 20 – Velocidade de Sedimentação, Volume de Lodo, Dureza (%), Fosfatos (%), Turbidez (%) e Fenol Removido do caldo de cana clarificado (%) com diferentes auxiliares de sedimentação.....	72
Tabela 21 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação.....	73
Tabela 22 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação.....	73
Tabela 23 – Valores obtidos para Brix, Pol e Pureza do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	75
Tabela 24 – Valores obtidos para pH, Acidez Total e Fosfatos Totais do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	75
Tabela 25 – Valores obtidos para Cinzas Totais, Compostos Fenólicos Totais (CFT), Cor e Turbidez do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	75
Tabela 26 – Valores obtidos para Fe, Na, Ca, Mg e K do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	76
Tabela 27 – Valores médios obtidos para Brix, Pol, Pureza e pH do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	80
Tabela 28 – Valores médios obtidos para Fosfatos Totais, Fosfatos Totais Removido, Cinzas Solúveis e Cinzas Removida do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	81
Tabela 29 – Valores médios obtidos para Turbidez e Turbidez Removida do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	84
Tabela 30 – Valores obtidos para Ferro (Fe), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	88
Tabela 31 – Valores médios obtidos para Turbidez do açúcar VHP obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	94

Tabela 32 – Valores obtidos para Ferro (Fe), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) do açúcar com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	97
Tabela 33 – Resultados para Brix, Pol, Pureza, pH, acidez e cinzas do Melaço obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	99
Tabela 34 – Resultados para ART e Acidez Total do Mosto obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	101
Tabela 35 – Resultados obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos no início do processo fermentativo de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	104
Tabela 36 – Resultados obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos no início do processo fermentativo de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.....	107
Tabela 37 – Resultados obtidos para Brix, pH, Acidez Total, ARRT e Glicerol do vinho resultante do processo fermentativo utilizando-se mostos preparados a partir de melaços e caldos clarificados com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 3 variedades.....	110

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) totaliza aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático (FAO, 2013).

Dentre os países produtores, o Brasil se destaca como líder mundial, com estimativa de processamento, na safra 2015/2016, de 663 milhões de toneladas de cana (CONAB, 2015), as quais serão destinadas para a produção de açúcar, etanol, cachaça, rapadura, bioenergia entre outros.

Analisando-se os mercados futuros dos produtos derivados da cana-de-açúcar, verifica-se, em médio prazo, crescente demanda principalmente por açúcar e etanol. Tais resultados são derivados das mudanças de padrões de consumo alimentar de países em desenvolvimento, que estão inserindo açúcar em suas pirâmides alimentares; assim como a adoção mundial do etanol como combustível em substituição aos combustíveis fósseis (UNICA, 2011).

Analisando-se o mercado mundial de etanol, observa-se que o Brasil apresenta-se como o segundo maior produtor, sendo os Estados Unidos o primeiro. Deve-se salientar que o etanol produzido neste país é originado do milho (*Zea mays*), resultando em concorrência direta na produção de alimentos. No Brasil, devido a matéria-prima utilizada ser a cana-de-açúcar, não ocorre tal situação, pois há flexibilidade de fabricação de açúcar e etanol, sendo o mercado responsável por direcionar a produção (UNICA, 2011).

Neste cenário, deve-se considerar ainda que as exigências do cliente quanto as especificações do produto e métodos de produção são cada vez mais rigorosas, sendo que o açúcar e o etanol não devem conter compostos tóxicos ao ser humano, assim como os resíduos do processo de produção devam ser corretamente descartados.

Analisando-se a cadeia produtiva do açúcar e do etanol, verificam-se vários pontos de aperfeiçoamento do processo, como a purificação do caldo de cana, o qual visa remover impurezas que afetam negativamente a cristalização da sacarose e o processo de fermentativo para produção de etanol. Tais impurezas

são removidas por precipitação através de reações químicas promovidas por insumos adicionados. Entre os produtos inseridos no caldo, devem-se ressaltar os polieletrólitos sintéticos, que apresentam elevada capacidade de acelerar a sedimentação das partículas. Entretanto, tais compostos são originados de acrilamidas, produtos que podem apresentar ações carcinogênicas se permanecerem no produto final (OMS, 2002). Desta maneira, elevadas concentrações podem resultar em retenção destas moléculas nos cristais de açúcar, assim como nas leveduras resultantes do processo fermentativo, as quais após secas são destinadas ao consumo animal.

Deve-se destacar ainda que a utilização destes insumos é restrito apenas a unidades agroindustriais que adotam o sistema convencional de produção. Para as unidades que aderiram ao sistema de cultivo orgânico, o uso de polieletrólito sintético não é recomendado. Neste modelo de produção, há apenas o auxiliar de sedimentação extraído da casaca da árvore acácia-negra (*Acacia mearnsii*).

Desta maneira, há necessidade de se buscar outros produtos que possam substituir o polieletrólito sintético. Entre esses, destaca-se o extrato obtido a partir das folhas e sementes da planta *Moringa oleífera* Lamarck, que apresentam em sua constituição uma proteína com alto poder de coagulação de coloides, fato que direcionou sua utilização em unidades de tratamento de água para consumo humano, águas residuárias de processos industriais e até esgotos (ULLAH et al., 2015). Deve-se ressaltar ainda, que ensaios preliminares demonstraram eficácia deste produto para a fabricação de açúcar (COSTA et al., 2014a) e etanol (MACRI et al., 2014). Entretanto, faz-se necessário maior detalhamento destes processos, como métodos eficazes de extração da proteína das sementes, assim como os reflexos do processo fermentativo do melaço residual da fabricação de açúcar.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a utilização de extrato de sementes e folhas de moringa como auxiliar de sedimentação do caldo de cana, e os reflexos sobre a produção de açúcar e etanol. Ademais, também foi avaliado métodos de extração da proteína das sementes da moringa, assim como realizado sua caracterização.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de Açúcar

2.1.1 Cultivo da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta da família das Poaceas, as quais apresentam uma inflorescência, o crescimento dos caules na forma de colmos, folhas laminares e bainha aberta. Esta é originária do sudeste asiático e, atualmente, cultivada nas Américas do Sul, Central e do Norte, África, Oceania e Ásia. Classifica-se como perene, altamente produtiva (acima de 60 t/ha de massa úmida), com ciclo vegetativo de 12 a 18 meses, sendo os açúcares produzidos na fotossíntese armazenados na forma de sacarose nos colmos.

A colheita ocorre quando a cana apresenta-se em seu Período Útil de Industrialização (PUI), ou seja, quando suas características químico-tecnológicas apontam para maiores recuperações de sacarose pela indústria, viabilizando o cultivo da mesma. Para a determinação do PUI, leva-se em consideração a composição tecnológica da cana em seu estágio de maturação. Neste período esta matéria-prima apresenta de 86-92% de caldo e 8-14% de fibra. O caldo é formado por 75-82% água e de 18-25% de sólidos solúveis (Brix). O Brix, por sua vez, é constituído por 15,5-24% de açúcares (glicose, frutose e sacarose) e 1,0-2,5% de não açúcares (aminoácidos, corantes, ceras, ácidos, fenóis, proteínas, fosfatos, silicatos, oxalatos, etc.) (Figura 1).

Após o corte, a matéria-prima é carregada e transportada até as unidades industriais. Considerando-se a colheita manual, o carregamento pode ser realizado manual ou através de maquinários específicos, enquanto que a colheita mecanizada, o colhedora direciona os toletes para transbordos. O transporte no Brasil pode ser realizado através de tração animal, caminhões “rodotrem” ou ainda por navios/balsas, que encaminham a cana até as usinas.

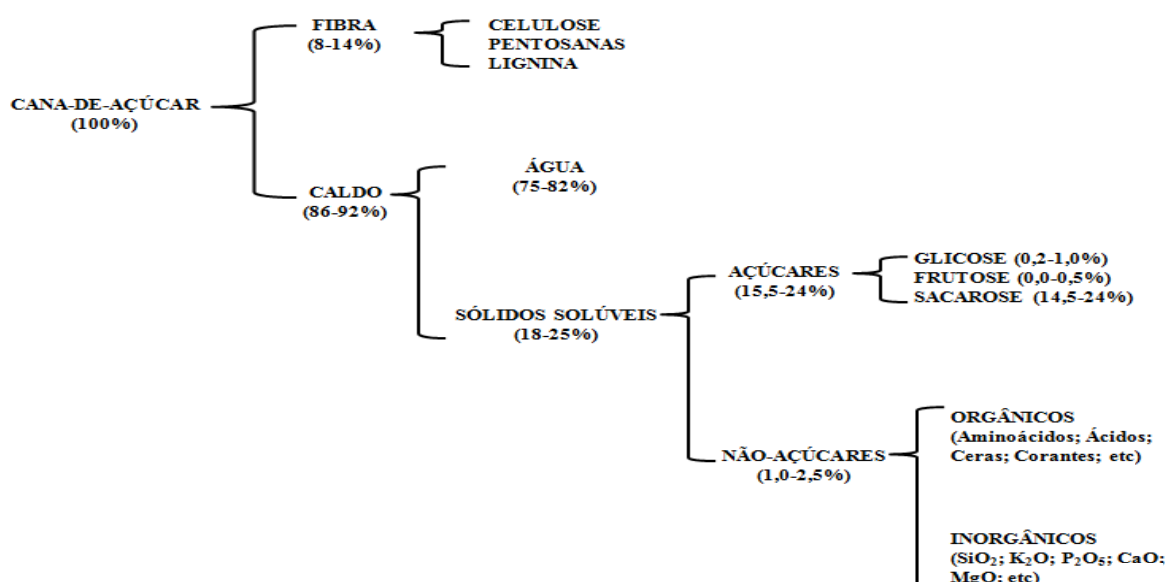


Figura 2 - Composição tecnológica do caldo de cana-de-açúcar

Fonte: Elaboração Própria

2.1.2 Recepção, preparo e extração do caldo

Na unidade industrial o caminhão primeiramente é pesado e direcionado ao Laboratório de Pagamento de Cana por Teor de Sacarose (PCTS), onde é amostrado para quantificação de sacarose e fibra presente na matéria-prima. A partir destas análises é determinado o Açúcar Total Recuperável (ATR), que é uma estimativa da quantidade de açúcar a ser recuperado por tonelada de cana processada. Este índice, além de ser utilizado para rendimentos industriais, também é utilizado como parâmetro para o pagamento do fornecedor de cana. Deve-se destacar que as unidades brasileiras amostram de 25-50% do carregamento diário, sendo o primeiro valor obrigatório conforme regras instituídas pelo Consecana (2006). O caminhão a ser amostrado é estabelecido através de sorteio automático realizado na balança, liberando à carga um código, de tal maneira, que o analista do laboratório é impossibilitado de rastrear a origem da mesma, evitando possíveis fraudes.

A seguir, a cana é descarregada em mesas laterais de 45° ou ainda em pátios, quando pretende-se realizar o armazenamento da cana para processamento noturno (provisionamento). Contudo, o descarregamento em pátios só é possível para cana colhida inteira (manual). Atualmente, como a colheita

mecanizada ocorre em tempo integral nas unidades industriais, não há necessidade da realização do provisionamento (ALBUQUERQUE, 2011).

Após descarregamento, a cana é direcionada, através de esteiras, à mesa de preparo da cana, a qual objetiva reduzir o tamanho dos toletes, aumentando a superfície exposta e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do processo de extração do caldo.

O preparo da cana é realizado por 3 equipamentos. O primeiro é o nivelador, que é constituído por tambor de metal, sendo este responsável por nivelar a altura do “colchão” de cana na esteira. O segundo é o picador, que é composto por facas de ferro fundido, as quais reduzem o do tamanho do tolete. O terceiro e último equipamento é o desfibrador, o qual através de estruturas denominadas martelos, pressionam a cana sobre uma superfície áspera, resultando na formação de partículas de tamanho reduzido, denominada cana desfibrada ou cana preparada (REIN, 2012).

O controle deste processo é realizado através de um cálculo que determina o índice de “células-abertas” ou “índice de preparo da cana”, que considera a Pol do extrato obtido a partir de amostra da cana desfibrada, e a fibra da mesma. Admite-se que este índice deva ser maior que 88% quando o extrator de caldo é uma moenda, e 95% quando é um difusor, pois valores menores, comprometem a eficiência do processo, resultando em perdas de açúcar que ficam retidos no bagaço. Neste caso, deve-se considerar a substituição das facas picadoras e dos martelos (ALBUQUERQUE, 2011).

O processo de extração do caldo pode ocorrer por moenda ou difusor. A moenda extrai o caldo através de pressão inserida sobre a cana desfibrada, enquanto o difusor, retira açúcar da cana através de lixiviação proporcionada por inserção de água a 75°C (ALBUQUERQUE, 2011).

Para que ocorra a ruptura das células e extração do caldo, obtendo-se índices de extração de aproximadamente 90%, a moenda deve apresentar entre 4 e 6 ternos. Cada terno é constituído por quatro rolos cilíndricos encamisados com chapas de ferro contendo ranhuras, que maximizam a pressão sobre a cana. No último terno da moenda é adicionado água a 75°C, num processo denominado embebição, que auxilia a remoção de açúcares de dentro das células. O caldo

extraído neste ponto é bombeado para o terno anterior, e assim sucessivamente. Entretanto, o primeiro terno não recebe embebição. Neste caso, admite-se que o processo de extração por moenda resulta em dois caldos, o primário e o secundário. Nas unidades industriais brasileiras, o caldo primário, por apresentar maior pureza, é direcionado à fabricação de açúcar, enquanto o secundário é enviado à fábrica de etanol. Algumas unidades, que não possuem destilaria em anexo, ou ainda que priorizam somente a fabricação de açúcar, misturam os caldos primários e secundários, originando o caldo misto (ALBUQUERQUE, 2011). Thai (2013) aponta que o caldo misto apresenta pH entre 5,1-5,5, Pol entre 10-16%(p/p), água entre 73-76%(p/p) e 11-16%(p/p) de sólidos insolúveis tais como bagacilhos e terra.

No difusor, a cana desfibrada é transportada pelo equipamento através de uma única esteira. Dentro do mesmo, esta recebe água a 75°C constantemente, que se infiltram no “colchão” e removem os açúcares presentes dentro das células. Embaixo do difusor há compartimentos que recolhem o caldo extraído e o bombeia novamente para dentro do difusor, sendo o mesmo recuperado no primeiro compartimento do equipamento (REIN, 2012).

No final dos dois processos há sobra de um resíduo fibroso denominado bagaço. Este subproduto é analisado rotineiramente, uma vez que pode conter açúcares não extraídos e elevada porcentagem de água. O bagaço deve apresentar umidade inferior a 50%, pois são queimados em caldeiras, as quais promovem a evaporação de água formando vapor, que é utilizado para o funcionamento de equipamentos industriais ou ainda direcionado a turbinas para geração de energia elétrica.

2.1.3 Tratamento do caldo para produção de açúcar

O caldo extraído apresenta em sua constituição água, sólidos solúveis (açúcares, ácidos orgânicos, proteínas, compostos fenólicos, gomas, compostos inorgânicos, lipídios, dentre outros) e sólidos insolúveis (bagacilho, terra, metais, etc). Para a produção de açúcar cristal, as biomoléculas de interesse são os açúcares, especialmente a sacarose. Cabe ressaltar que os teores de glicose e

frutose, açúcares redutores, são importantes, uma vez que afeta de modo direto a recuperação de cristais durante as etapas de cozimento. Os demais constituintes são considerados impurezas. Sob esta ótica, deve-se realizar o tratamento do caldo para remover estes compostos (EGGLESTON; MONGE; PEPPERMAN, 2002).

Este 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 à ação de hidro ciclones, os quais promovem a remoção de terra do caldo, reduzindo a formação de lodo no processo de decantação. A remoção prévia de tais elementos faz-se necessária, uma vez que estas impurezas promovem entupimentos de bombas, formando incrustações em canalizações e tubulações (REIN, 2012).

Após as etapas iniciais, o caldo é submetido à ação de agentes químicos, promovendo a coagulação de proteínas e arraste de impurezas para o fundo do decantador. O tratamento químico realizado determinará o tipo do açúcar a ser produzido, sendo que tratamentos mais brandos resultarão em açúcares de qualidade inferior. Atualmente, o processo de caleagem simples e sulfo-caleagem são os mais utilizados no Brasil, sendo que algumas unidades industriais realizam o tratamento com o processo de ozonização (ALBUQUERQUE, 2011).

2.1.3.1 Caleagem

O processo de caleagem, ou adição de leite de cal até elevação do pH para 7,0-8,0, pode ser realizado no caldo frio (temperatura ambiente), temperatura intermediária (60°C), ou ainda à temperatura de 90°C.

No processo de caleagem a frio, o caldo é direcionado a tanques dosadores de leite de cal, segue para a linha de aquecedores (100-105°C), balão de flash (30 segundos) e para o decantador, onde fica em retenção por aproximadamente 1-2 horas, para que os fosfatos de cálcio se sedimentem (EGGLESTON; MONGE; PEPPERMAN, 2002).

O processo de caleagem intermediária consiste na elevação da temperatura do caldo misto à aproximadamente 65°C. Após sair da linha de aquecedores, o caldo é direcionado ao tanque de dosagem de leite de cal, onde permanece por

aproximadamente 8 minutos até elevação do pH. Na sequência eleva-se a temperatura à 100°C, direciona-se o caldo para o balão de flash e decantador (EGGLESTON; MONGE; PEPPERMAN, 2002).

Considerando-se a caleagem a quente, o caldo é aquecido a aproximadamente 80-90°C, recebe leite de cal, novamente aquecido a 100-105°C, flasheado (balão de flash) e transferido para o decantador (DELGADO; CESAR, 1977).

No Brasil, o processo mais utilizado é o de caleagem a frio. Entretanto, estudos publicados por Eggleston, Monge e Pepperman (2002), demonstram que a utilização de caleagem a quente resultam em caldo clarificado com menor turbidez e dextrana, além de diminuir significativamente a quantidade de leite de cal utilizada para elevação do pH, fato este que promove economia de até 50% do valor gasto na safra com este insumo.

Deve-se considerar ainda que nestes processos, o cálcio adicionado reage com fosfatos presentes no caldo de cana, utilizando-se elevadas temperaturas como catalisador, formando compostos insolúveis denominados fosfatos de cálcio. Estes coágulos precipitam, adsorvendo ácidos orgânicos e outros compostos, resultando em duas fases no decantador: uma líquida (caldo clarificado) e outra sólida (lodo) (HONIG, 1969).

Deste tratamento de caldo resulta o açúcar denominado VHP (Very High Purity), o qual apresenta teor de sacarose próximo a 99% e cor máxima de 1200 U.I. (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007). Nas últimas safras, este tem sido o açúcar mais fabricado no Brasil, considerando-se a demanda para a exportação. Este tipo de açúcar não é utilizado para o consumo direto. Entretanto é a principal matéria-prima para fabricação de outros produtos, tais como, açúcar refinado, refrigerantes, doces, massas, bolachas, entre outros.

2.1.3.2 Sulfitação

A sulfo-defecação consiste na adição de dióxido de enxofre ao caldo de cana até redução do pH para 4,4 - 4,6, seguida da neutralização até pH 7,0 com leite de cal, aquecimento a 100-105°C e decantação. Neste processo, o enxofre adicionado reage com o cálcio formando sulfatos de cálcio, os quais também são

insolúveis e, por consequência, precipitam. Esta ação da sulfitação sobre o caldo, é denominada fluidificante, em virtude da redução dos valores do pH, provocando a precipitação de determinados coloides, diminuindo a viscosidade. Como consequência verifica-se maior velocidade na decantação, menor tempo de cozimento, concentração mais rápida do caldo nos evaporadores e melhor cristalização para produção de açúcar. Entretanto, deve-se destacar que o enxofre tem propriedade redutora transformando os sais férricos, coloridos, em ferrosos, que são incolores (ALBUQUERQUE, 2011).

Este tratamento do caldo possibilita a produção do açúcar cristal branco, apresentando teores de sacarose da ordem de 99,6% e cor abaixo de 300 U.I. (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

2.1.3.3 Aquecimento e Balão de Flash

Como relatado anteriormente, o aquecimento à 100-105°C objetiva catalisar a reação entre o cálcio adicionado e os fosfatos presente no caldo. Entretanto, deve-se destacar ainda que estas faixas de temperatura promove a coagulação e precipitação de proteínas, além de eliminar moléculas gasosas presentes, tais como CO₂, O₂, entre outros. A retirada dos gases do caldo é de fundamental importância para a eficácia do processo, pois estes podem se aderir aos fosfatos de cálcio, promovendo a flotação do mesmo (DELGADO; CESAR, 1977).

Considerando-se que nos decantadores industriais o caldo clarificado é retirado no topo do equipamento, a flotação das impurezas é indesejada, pois saem juntamente com o sobrenadante, aumentando a turbidez do material. Neste sentido, pode-se destacar ainda que a presença de fosfatos de cálcio é prejudicial durante o processo de evaporação do caldo, pois ficam retidas nas paredes dos tubos da calandria na forma de incrustações, aumentando o tempo de paradas para limpeza, assim como o gasto com insumos próprios para esta finalidade. Ademais, os fosfatos de cálcio ainda apresentam relação direta com o aumento das cinzas e diminuição da filtrabilidade do açúcar produzido, além de resultarem no menor índice de cristalização da sacarose, resultando na maior formação de melaços (DELGADO; CESAR, 1977).

Outro ponto a se destacar é que os gases são dispersados na atmosfera pelo balão de flash, uma vez que, até então, o caldo encontrava-se dentro de tubulações fechadas, impossibilitando a saída dos mesmos. Ademais, este equipamento apresenta a função de reduzir a velocidade do caldo dentro da tubulação, impedindo que ocorra o turbilhonamento do material em retenção no decantador (ALBUQUERQUE, 2011).

2.1.3.4 Polieletrólito Sintético

Em ambos os processos, são adicionados polieletrólitos de origem sintética (polímero) diretamente no decantador. Estes são moléculas de peso e tamanho elevados, que apresentam radicais livres que reagem com os fosfatos de cálcio, formando flocos de elevada densidade que sedimentam rapidamente. Estes radicais podem se ligar a íons de carga positiva ou negativa, resultando em produtos denominados aniônicos ou catiônicos. Considerando-se que grande parte das impurezas presentes no caldo apresentam carga positiva, os polímeros mais utilizados pelas unidades sucroalcooleiras são de característica aniônica (HUGOT, 1969).

Deve-se ressaltar que os polímeros são constituídos por poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas. Tais elementos caracterizam-se por serem carcinogênicos e apresentarem características neurotóxicas ao ser humano, provocando transtornos permanentes estruturais e funcionais no cérebro, além de fortes indícios de comprometer a fertilidade dos indivíduos. Outra ação da acrilamida é o desenvolvimento de tumores benignos e malignos em diversas partes do corpo, podendo resultar em óbito (OMS, 2002).

Neste contexto, países como os Estados Unidos limitaram o uso a concentrações máximas de 5mg/L deste insumo no tratamento do caldo de cana, objetivando evitar resíduos de acrilamida no açúcar produzido (PAYNE, 1989).

2.1.3.5 Floculante de acácia-negra (*Acacia mearnsii*)

Além do polieletrólito sintético, há no mercado um polímero natural preparado a partir do extrato da casca da planta *Acacia mearnsii*, popularmente conhecida como “acácia-negra”. Este produto é composto por taninos

condensados, cujos elementos constituintes são os flavonoides resorcinol, pirogallol e catechol (BELGACEM; GANDINI, 2008), que conferem uma característica catiônica (MANGRICH et al., 2010).

O extrato de acácia-negra é aplicado no decantador previamente a adição do caldo clarificado, similar ao processo descrito para o polieletrólito sintético. A utilização para esta finalidade é difundida principalmente entre as unidades sucroenergéticas produtoras de açúcar orgânico, uma vez que a eficiência é ligeiramente inferior ao polímero preparado a partir de acrilamida.

Entretanto, deve-se destacar que este produto é amplamente aplicado no tratamento de água para consumo humano, esgotos (MANGRICH et al., 2010) assim como águas residuárias de unidades industriais (VAZ et al., 2010).

2.1.4 Química da clarificação do caldo

2.1.4.1 Impacto do tratamento de caldo sobre os compostos orgânicos

Sacarose

A sacarose é o principal açúcar armazenado pela cana. É um dissacarídeo formado por dois monossacarídeos: glicose e frutose. Os componentes monossacarídeos se agrupam 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; NELSON; COX, 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; CESAR, 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",

que ocorre com o aumento de temperatura durante o processamento (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 estes, os presentes no caldo são trans-aconíticos, oxálicos, acético, lático, 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 lático são resultantes da ação de microrganismos (ALBUQUERQUE, 2011).

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).

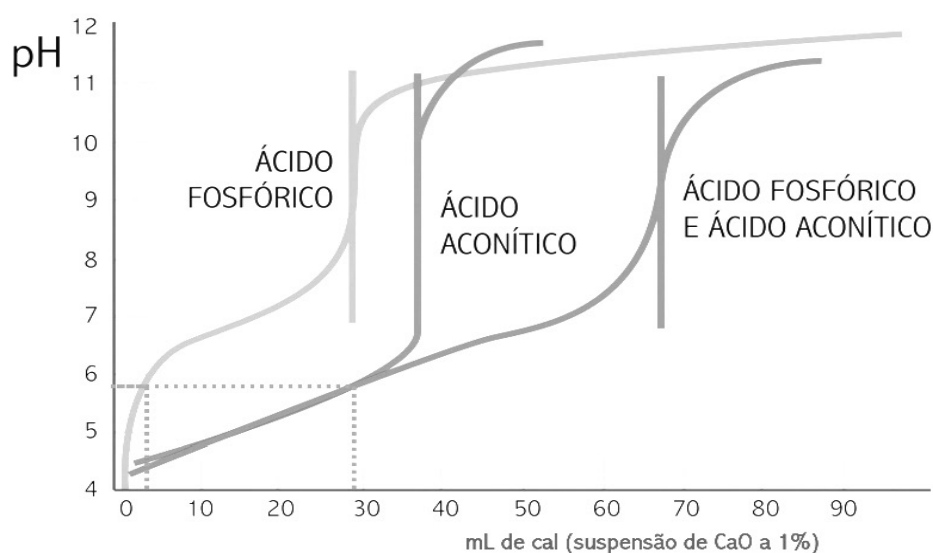


Figura 2 - Influência do aconitato na alcalinização do caldo.

Fonte: Martin (1969) apud Amorim Neto (2014)

Compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados compreendem os compostos de alta massa molecular (proteínas), os aminoácidos e as 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 da centrífuga devido a quantidade de material coloidal presente (DELGADO; CESAR, 1977).

As proteínas são polímeros de aminoácidos, de alto peso molecular e estruturas complexas. São moléculas essenciais para a vida animal e vegetal, uma vez que são constituintes fundamentais das células dos tecido vivos (LEHNINGER; NELSON; COX, 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; NELSON; COX, 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 contribuirão na coloração da massa cozida (GODSHAL, 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, e são fundamentais para a realização da fotossíntese, 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; SILVA; CAVALARI, 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 caleagem simples (HONIG, 1969). No processo industrial, esta fica praticamente toda retida no bagaço e bagacilhos, sendo pouca quantidade extraída junto ao caldo (DELGADO; CESAR, 1977).

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; SILVA; CAVALARI, 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 caleagem simples, o aquecimento e a elevação de pH a 7,0, propiciam parcial hidrólise da hemicelulose, removendo arabinose e glucorânio, os quais apresentam características melassigênicas (HONIG, 1969).

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; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 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).

O tratamento de caldo por caleagem simples não elimina os compostos fenólicos presentes (ALBUQUERQUE, 2011), entretanto Costa et al. (2014a) 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 (19-24 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).

2.1.4.2 Impacto dos compostos inorgânicos sobre o tratamento de caldo

Os compostos inorgânicos representam, 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 minerais 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 nutrientes 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 pelo quadro 1 (HONIG, 1969).

Analisando o 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. Este fenômeno pode ocorrer em adições em excesso do agente coagulante, assim como a presença de elevadas concentrações de ácido aconítico no caldo que induz o maior consumo destes insumos. 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).

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

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).

2.1.5 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 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 ressaltar 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 60-70°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 3A). 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 semeadura. 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 (Figura 3B) (DELGADO; CESAR, 1977).

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).

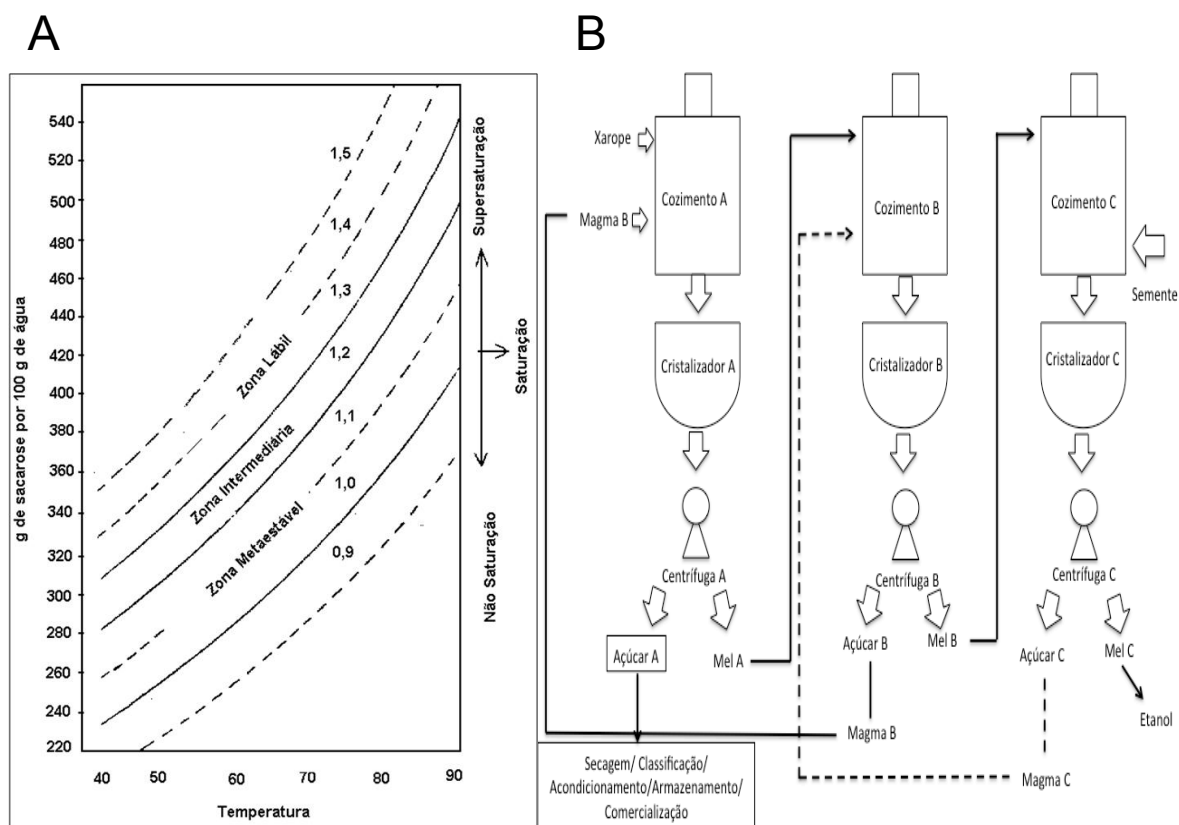


Figura 3 – A- Solubilidade da sacarose pura em água em função da temperatura. B – Esquema de cozimento de 3 massas.

Fonte: Rein, 2012

2.1.6 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).

A cor do açúcar é resultante, principalmente, da película de mel que fica envolta do cristal não removida pela centrifugação, da ligação de mel a superfície ou a todo o cristal por forças de adsorção (dextrana, caramelos, dentre outros), e a oclusão de licor-mãe no interior do cristal devido a rápida velocidade de cristalização (VAN HOOK, 1997). Entretanto, sabe-se que a época de processamento da cana-de-açúcar e a variedade também influenciam diretamente nestes valores (RIPOLI; RIPOLI, 2009), assim como a quantidade de compostos fenólicos (GODSHAL, 1999; SIMIONI *et al.*, 2006).

A presença de cinzas é outro parâmetro que pode afetar a qualidade do açúcar. O nível destes compostos nos cristais de açúcar ocorre em função da quantidade de inclusões nos mesmos. 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 energia para o processo (REIN, 2012).

A dextrana é um polissacarídeo formado por ligações lineares de glicose na posição β -(1-6). Embora esta molécula esteja presente nas fábricas de açúcar não é sintetizada pela cana-de-açúcar, mas por micro-organismos contaminantes, especialmente a bactéria *Leuconostoc mesenteroides*, presente da matéria-prima ou nos ambientes da fábrica. Estima-se que xaropes que apresentem baixa quantidade de dextrana, aproximadamente 10% destes polissacarídeos, acabam apresentando essa molécula inserida no cristal de açúcar, entretanto quando o xarope apresenta quantidades acima de $5000 \text{ mg kg}^{-1} \% \text{Brix}^{-1}$, este percentual de retenção no cristal sobe para 30% (HONIG, 1969).

Embora a dextrana não seja nociva à saúde humana, ela é extremamente prejudicial a refinarias, impactando na viscosidade da calda, no processo de clarificação e cristalização do açúcar refinado. 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).

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 micro-organismos, os quais podem deteriorar o produto e torná-lo danoso a saúde humana (HUGOT, 1969).

Entre os micro-organismos 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, vindos do campo junto com a matéria-prima. Entretanto ao longo do processamento somente os micro-organismos termofílicos sobrevivem. A presença dos demais contaminantes esta associada às operações finais do processamento do açúcar (lavagem com água na centrifugação, condutores, manipulação humana, pó de açúcar, entre outros). Ao final do processo, os micro-organismos acabam retidos no filme de mel que envolve o cristal (DELGADO; CESAR, 1977).

2.2 Produção de etanol

2.2.1 Tratamento do caldo para produção de etanol

O processo de tratamento inicia-se com a remoção das impurezas grosseiras do caldo. Neste caso, o caldo extraído é submetido a peneiras (DMS, Vibratória, “Cush-Cush” ou Rotativa) para remoção do bagacilho. A seguir pela ação de hidrociclones ou turbos filtro remove-se parte das impurezas minerais, especialmente terra (ALBUQUERQUE, 2011).

Após tratamento físico, o caldo ainda pode apresentar quantidades significativas de bagacilho e terra em suspensão, assim como compostos solúveis. Por esta razão deve-se complementar a clarificação do caldo, através do tratamento químico. Este deve ser brando, para que não ocorram remoções significativas de nutrientes importantes para a levedura, tais como fósforo, nitrogênio e magnésio, ao longo do processo fermentativo (WALKER, 1998).

O tratamento químico consiste na adição de hidróxido de cálcio ao caldo até elevação do pH para 5,8-6,0. A seguir, realiza-se aquecimento a 100-105°C, possibilitando a formação de precipitados mais densos que a solução, denominados fosfato de cálcio (STEINDL, 2010). Na sequência este caldo aquecido é disposto em decantador, onde recebe a adição de polieletrólitos sintéticos a base de acrilamida, que auxiliam a decantação dos fosfatos de cálcio aumentando a velocidade de sedimentação, permanecendo por período de 25 minutos no decantador rápido (REIN, 2012).

Deve-se destacar que a precipitação do fosfato de cálcio é resultante da reação entre o fósforo presente no caldo e a cal adicionada. Este adsorve e arrasta grande parte do material suspenso no caldo extraído. Ao mesmo tempo, o aquecimento a 100-105°C favorece a eliminação de quantidades significativas dos micro-organismos que estão em suspensão (OLIVA-NETO; YOKOYA, 1997).

O tratamento do caldo é fundamental para a remoção de impurezas solúveis e insolúveis presentes no caldo extraído. Não obstante, deve-se observar para seja realizado de maneira adequada e de acordo com as recomendações técnicas, evitando prejuízos, tais como a remoção de nutrientes do caldo, que são essenciais para o metabolismo dos microrganismos fermentadores. Caso este fato ocorra, pode ainda acarretar em grandes quantidades de íons de cálcio no mosto (STEINDL, 2010), os quais afetam negativamente o metabolismo das leveduras (WALKER, 1998).

2.2.2 Preparo do Mosto

Mosto é toda solução açucarada apta a ser fermentada. Para tanto, deve apresentar concentrações ideais de açúcares, nutrientes, temperatura, pH e concentrações mínimas de micro-organismos contaminantes (LIMA et al., 2001).

Atualmente as unidades sucroalcooleiras brasileiras, utilizam como matéria-prima para preparo do mosto, caldo clarificado e melaço residual da fabricação do açúcar. Pode-se utilizar ainda caldo extraído e xarope (caldo clarificado concentrado a 65°Brix) dependendo das necessidades produtivas da unidade industrial (LIMA et al., 2001).

Nos últimos anos, em virtude dos elevados preços do açúcar no mercado internacional, o “mix” de produção tem sido direcionado para açúcar. Neste caso, quantidade significativa da produção de etanol utiliza o melaço como matéria-prima para preparo do mosto.

Independente do mosto utilizado, este deve apresentar concentração de sólidos solúveis entre 14-28%, temperatura de 28-32°C, pH entre 4,0-4,5 (WALKER, 1998) e quantidade de micro-organismos totais inferiores a 10^6 Unidades Formadoras de Colônia/mL (STEINDL, 2010).

Com relação aos teores de nutrientes, requeridos para o desenvolvimento do processo de fermentação, de acordo com Amorim (2005), o mosto deve conter quantidades de nitrogênio entre 100-300 mg/L, fósforo de 50-250 mg/L, potássio de 700-1300 mg/L, magnésio 100-200 mg/L, zinco, cobre e manganês de 1 a 5 mg/L. Considerando-se enxofre, cálcio e alumínio deve-se cuidar para que os teores sejam os menores possíveis, uma vez que podem afetar negativamente o metabolismo da levedura.

O melaço sendo um resíduo obtido da produção de açúcar contém teores significativos de açúcares. Entretanto, considerando-se os compostos inorgânicos, verifica-se a necessidade de suplementação, seja pela adição de sais diretamente no mosto (sulfato de amônio, ácido fosfórico, etc) ou mesmo pela mistura com o caldo clarificado (FREITA et al., 2012; PAVANI et al., 2013).

Com relação aos compostos orgânicos, o melaço, de modo geral, pode apresentar elevadas concentrações de compostos fenólicos, ácidos, furfural e outros subprodutos que podem inibir o metabolismo da levedura em fermentação (MUTTON et al., 2012), diminuindo a viabilidade dos brotos e dos brotamentos (MASSON et al., 2012).

2.2.3 Fermentação Etanólica

A fermentação é o processo através do qual os açúcares presentes no mosto são transformados em etanol, gás carbônico, por ação das leveduras (AMORIM, 2005).

Além destes compostos, deve-se destacar ainda a formação e liberação de glicerol, ácidos orgânicos (succínico, acético, pirúvico e outros), álcoois superiores, acetaldeído, acetoína, butilenoglicol, assim como outras biomoléculas de menor significado quantitativo. Simultaneamente ocorre a formação de biomassa. Estima-se que 5% do açúcar metabolizado pela levedura seja desviado para gerar produtos secundários de fermentação, resultando em eficiência, teórica, de 95% em etanol (INGLEDEW, 2009).

Segundo Amorim (2005) a taxa de produção de biomassa, ou índice de brotamentos, deve ser da ordem de 5-15% de células. Considerando-se que para realização de fermentação com elevados rendimentos em etanol, deve-se manter a concentração de células no meio de 10-13% (p/p). Para valores iguais ou superiores a 15%, verifica-se excesso de leveduras no meio, sendo necessário retirar este excedente, através de procedimento denominado sangria do fermento. Por ocasião do processamento nas unidades sucroenergéticas, este excedente é seco em equipamentos denominados “spray-dry”, sendo comercializado como constituintes de fórmulas de ração animal, devido ao elevado valor proteico, fibra, cinzas e vitaminas que a levedura pode apresentar.

Relatos de Yamada et al. (2003), asseguram que a levedura após processo de fermentação apresenta 39,6% de proteínas, 31,4% de fibras, 4,6% de cinzas, 0,5% de cinzas, 9% de ácido ribonucleico, além de 14,9% de outros compostos. Meurer (2000) destaca ainda a produção significativa de vitaminas do complexo B, especialmente a tiamina, riboflavina, niacina e ácido pantotênico.

A levedura pode apresentar ainda moléculas indesejáveis, tais como resíduos de antibióticos e de outros insumos utilizados durante as diferentes etapas do processamento industrial (INGLEDEW, 2009).

Merece especial atenção, a presença de moléculas nocivas, como a acrilamida, que apresenta ações neurotóxicas e carcinogênicas em animais e humanos (OMS, 2002). Neste caso particular, o resíduo é decorrente do emprego de polieletrólitos sintéticos destinados ao tratamento de caldo. Não obstante, este processo seja comumente utilizado por todas as unidades de produção industriais na atualidade, até o momento este tipo de investigação ainda não mereceu maiores atenções.

Considerando-se as exigências legais para resíduos em alimentos, as normativas destinadas aos processos num contexto de sustentabilidade, segurança ambiental e risco potencial, devem-se buscar novas tecnologias, assim como produtos e/ou moléculas que ofereçam menores riscos.

2.3 *Moringa oleífera* Lamarck

A moringa é uma espécie perene, da família Moringaceae, nativa do noroeste indiano, amplamente distribuída na Índia e nos países tropicais. Atualmente é cultivada pelo seu valor alimentar, além de ser utilizada como forrageira, condimento, ingrediente culinário, na indústria de cosméticos e de fármacos.

A utilização desta planta como floculante de água para consumo humano resulta da intenção de substituição dos coagulantes inorgânicos tradicionais, como o sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio (PAC). Dependendo da concentração utilizada pode-se encontrar resíduos, que podem ser tóxicos aos seres humanos ou à fauna e flora onde a água será disposta (BHUARTAWAT *et al.*, 2006).

Além disso, o coagulante extraído das sementes da Moringa se destaca dos coagulantes químicos por ser natural e biodegradável (MANGALE; CHONDE; RAUT, 2012). Essas questões podem ser interessantes quando se considera como importante o desenvolvimento sustentável (POUMAYE *et al.*, 2012).

Estudos de Gassenschmidt *et al.* (1995) e de Madrona (2010), indicam que a substância responsável pela coagulação dos coloides é uma proteína dimérica com massa molecular que varia de 6 a 30 kDa, e ponto isoelétrico entre 10 e 11. É constituída preferencialmente pelos aminoácidos glutamato, arginina, prolina, glicina, valina, serina, dentre outros, originando uma proteína denominada de MO2.1 (GASSENSCHMIDT *et al.*, 1995). Entretanto, estudos apontam que a semente de moringa pode apresentar até 4 isômeros desta proteína, denominadas de MOCBP3-1, MOCBP3-2, MOCBP3-3 e MOCBP3-4, que diferenciam-se entre si pelos aminoácidos constituintes. Ademais, estes isômeros são pertencentes a

família da 2S albumina, molécula esta amplamente conhecida por sua capacidade de coagulação (FREIRE *et al.*, 2015).

Segundo Davino (1976), o mecanismo de coagulação/floculação provocado pela proteína que constitui a polpa da moringa assemelha-se ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos. Quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, não há reações de neutralização entre o coagulante e a água para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Isso ocorre porque esses polieletrólitos são constituídos de complexos de grandes cadeias moleculares, que apresentam sítios com cargas positivas ou negativas, com grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor (BORBA, 2001).

A eficácia do processo de coagulação-floculação está diretamente relacionada à qualidade das sementes a serem utilizadas. Neste sentido pode-se destacar principalmente os teores de proteínas extraídas das mesmas (MADRONA *et al.*, 2011).

A extração de proteínas é maximizada quando se utilizam soluções salinas contendo KCl, NaCl, CaCl_2 e MgCl_2 1 mol/L, podendo-se obter quantidades seis vezes maiores em relação à extração realizada somente com água (OKUDA *et al.*, 2001; MADRONA *et al.*, 2011).

O emprego do extrato bruto de sementes de moringa no tratamento de água não é recomendado por incorporar parte da matéria-orgânica da casca, promovendo alterações na cor, no gosto e no cheiro da água para consumo. Neste caso, segundo Okoli (2012) deve-se purificar o extrato proteico antes da sua aplicação nas estações de tratamento.

Considerando-se que neste estudo a matéria-prima será o caldo de cana, resultados preliminares obtidos no grupo de pesquisas “Processos Biotecnológicos Aplicados à Agroindústria”, indicam que a utilização de extratos obtidos a partir de extração com CaCl_2 , como auxiliares de sedimentação, apresentam efeitos similares aos polieletrólitos (TEIXEIRA, 2013). Entretanto há necessidade de se estabelecer se a eficácia deste tratamento deve-se à proteína extraída das sementes de moringa, ou ao comportamento coagulante do cálcio. Neste sentido, deve-se avaliar ainda a permanência dos íons, presentes no extrato bruto, no caldo

clarificado, uma vez que estes poderão alterar as características deste. Neste caso a purificação do extrato é imprescindível, antecedendo sua utilização.

Diversos protocolos para purificação de proteínas estão disponíveis na literatura. Muitos sugerem a realização de diálise prévia para retirada dos sais utilizados para extração da proteína das sementes, ou a utilização deste extrato dialisado como floculante (OKUDA et al., 2001; GIDDE; BHALERAO; MALUSARE, 2012). A metodologia apresentada por Ghebremichael et al. (2005), que propõem a aplicação do extrato bruto em coluna de cromatográfica de troca iônica, apresenta-se eficaz e rápida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Instalação do Experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Álcool e Microbiologia das Fermentações da FCAV/UNESP, campus Jaboticabal-SP, na safra 2014/2015. Utilizou-se colmos provenientes das variedades de cana-de-açúcar RB855536, SP80-3280, SP83-2847, CTC4, CTC7, CTC4 e IACSP95-5000, colhidas no período útil de industrialização, sem queima prévia da palha. Deve-se destacar que estas são as variedades mais cultivadas da região atualmente.

As sementes e folhas de moringa foram obtidas de planta adulta cultivada no Horto florestal na FCAV/UNESP. O floculante sintético comercial (FSC) utilizado foi o Kemira AX3L, e o floculante orgânico comercial (FOC) foi o extrato de Acácia Negra cedido pela empresa Acquasugar®.

O experimento foi realizado em 6 etapas:

- a) Caracterização dos extratos e da proteína: preparou-se diferentes extratos a partir das folhas e sementes de moringa, sendo quantificado o teor de proteínas. Os extratos que apresentaram os maiores valores destas biomoléculas foram utilizados nos ensaios posteriores. Ademais, caracterizou-se o peso molecular da proteína presente nas sementes utilizadas.
- b) Teste de dosagem: Os extratos que apresentaram os maiores teores de proteínas foram utilizados como auxiliares de sedimentação no tratamento do caldo de cana, em 12 diferentes concentrações, estabelecendo a dose ideal para ser utilizada nas próximas etapas.
- c) Comparação entre floculantes: Realizou-se comparação entre os diferentes extratos, em suas respectivas doses, com FSC. Nesta etapa obteve-se o extrato ideal para ser utilizado como auxiliar de sedimentação do caldo de cana.
- d) Tratamento de caldo: Avaliou-se a eficiência dos extratos de sementes e folhas de moringa como auxiliar de sedimentação de 6 variedades de cana-de-açúcar, comparando-se com FSC e FOC.

- e) Qualidade do açúcar: Selecionou-se 3 variedades de cana-de-açúcar, as quais foram submetidas a processo de tratamento de caldo utilizando-se como auxiliar de sedimentação extrato de sementes e folhas de moringa, FSC e FOC. Os caldos clarificados foram evaporados, cristalizados e centrifugados para recuperação dos açúcares, os quais foram caracterizados.
- f) Produção de etanol: O melaço residual da fabricação do açúcar e o caldo clarificado das 3 variedades de cana-de-açúcar, foram submetidos a processo de fermentação etanólica, avaliando-se os efeitos sobre a fisiologia da levedura e aspectos químico-tecnológicos do vinho.

3.2 Preparo e caracterização dos extratos de moringa

As folhas e sementes da moringa foram coletadas entre Maio e Julho de 2014. A seguir, as sementes foram dispostas em estufa a 55°C por 12 horas, descascadas e maceradas manualmente em cápsula de porcelana.

Para preparo do extrato de folhas, realizou-se cocção por 10 minutos, seguida de filtração em peneira 6 meshes (BHATIA; OTHMAN; AHMAD, 2006).

Para a extração imergiu-se as sementes trituradas em soluções de KCl, $MgCl_2$ e $CaCl_2$ em diferentes concentrações (0,1, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0mol/L), na proporção de 1g de semente para 100g solução. A mistura ficou em agitação por 10 minutos seguida de filtração a vácuo, utilizando-se papel de filtro qualitativo para retenção das partículas grosseiras insolúveis, conforme descrito por Okuda et al. (2001). Os extratos foram caracterizados quanto ao teor de proteínas segundo método de HARTREE (1972).

Devido às limitações do método de Hartree, realizou-se prévia diálise (membrana da Sigma MWCO 5 kDa) dos extratos a base de potássio, magnésio e cálcio, contra água deionizada, uma vez que estes sais promovem precipitação dos reagentes.

Após determinação da concentração de solução de KCl, $CaCl_2$ e $MgCl_2$ que promoveu maior extração de proteínas, realizou-se novo processo comparando-se com extração em água deionizada. Nesta segunda etapa, os extratos foram caracterizados quanto ao Brix, Cinzas Solúveis, pH (CTC, 2009), Compostos

Fenólicos (FOLIN; CIOCALTEU, 1927) e Proteínas Totais (HARTREE, 1972). O extrato a base de CaCl_2 foi caracterizado também quanto aos compostos inorgânicos (K, Mg, Ca, Na, Cu, Fe, Zn, Mn), segundo A.O.A.C. (1997).

O extrato que apresentou maior concentração de proteínas foi filtrado em membrana de 0,22 μm , sendo posteriormente submetido à cromatografia de troca catiônica em coluna Mono STM 5/50 GL. A fase móvel consistiu de um tampão de acetato de sódio 0,02 M, pH 4,6 (eluente A) e tampão acetato de sódio 0,02 M, pH 4,6, + NaCl 1 M (eluente B). A eluição foi realizada de 0-100% do eluente B, com um gradiente não linear de concentração de B, num fluxo de 0,8 mL/min e foram coletadas frações de 0,5 mL/tubo. A reação foi monitorada a 280 nm (UV).

As frações correspondentes aos picos 5^a, 6^a, 7^a e 8^a no qual eluiu-se a proteína de interesse foram misturadas e submetidas a uma cromatografia de exclusão molecular em coluna de Superdex G 75 10/300 GL. A coluna foi equilibrada e eluída com tampão de acetato de sódio 0,02 M, pH 4,6, NaCl 0,15 M, com um fluxo de 0,5 mL/min e 0,3 mL/tubo de frações foram coletados. A reação foi monitorada a 280 nm (UV).

Objetivando-se avaliar a pureza e a massa molecular da proteína, realizou-se eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de Duodecil Sulfato de Sódio (SDS-PAGE) (LAEMMLI, 1970). Este processo durou aproximadamente duas horas, a temperatura ambiente, em corrente de 25 mA e voltagem 100 V. Após a corrida, o gel de poliacrilamida foi corado com Coomassie Brilliant Blue. A remoção do excesso de corante foi obtida em solução reveladora até o aparecimento nítido das bandas de proteínas.

As dosagens proteicas em solução foram realizadas pelo método do micro-biureto conforme descrito por Itzahaki e Gill (1964). A curva padrão foi construída utilizando-se soro albumina bovina.

3.3 Teste de Dosagem

3.3.1 Processo de Clarificação

Os diferentes extratos de sementes extraídos com KCl (EBK), CaCl_2 (EBC), MgCl_2 (EBM) e Água (EBA), além do extrato de folhas, foram aplicados diretamente

no decantador, previamente a adição de caldo de cana com Brix ajustado a 16°, caleado até pH 7,0 e aquecido, onde permaneceu em repouso por 40 minutos. Nesta etapa, testou-se 12 diferentes dosagens (0, 5, 10, 50, 100, 250, 500, 800, 1000, 1300, 1600 e 2000 mg/L) com 4 repetições cada para os extratos de sementes e de folhas. Após tempo de retenção, o caldo clarificado (sobrenadante) foi sifonado e submetido à caracterização químico-tecnológica (Figura 4).

Utilizou-se caldo da variedade RB855536, coletado do primeiro terno de moagem de unidade produtora de etanol da região de Jaboticabal-SP.



Figura 4 – Processo de clarificação do caldo de cana em escala laboratorial.

Fonte: elaboração própria

3.3.2 Caracterização dos caldos extraídos e clarificados

Os caldos extraídos e clarificados obtidos a partir do teste de dosagem foram submetidos às análises de Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Turbidez, Cinzas Totais (CTC, 2009), Compostos Fenólicos Totais (FOLIN; CIOCALTEU, 1927), e compostos inorgânicos (K, Mg, Ca, Na, Cu, Fe, Zn, Mn), segundo A.O.A.C. (1997). A partir dos resultados obtidos nas análises dos caldos extraídos e clarificados, calculou-se a porcentagem de Acidez Total, Cinzas Totais, Compostos Fenólicos Totais e Turbidez, removidos pelo processo de clarificação.

Avaliou-se também: Velocidade de Sedimentação dos flocos no processo de decantação e o Volume de Lodo formado (CTC, 2009).

Deve-se destacar que cada extrato foi avaliado de forma independente em um delineamento inteiramente casualizado com 12 tratamentos (dosagens) e 4 repetições.

3.4 Comparação entre os floculantes

Determinada a dosagem ideal para cada extrato de sementes, realizou-se um experimento comparativo entre estas e FSC. Esta etapa foi constituída por 6 tratamentos (Controle, FSC, EBA, EBK, EBC e EBM), aplicados no decantador previamente a adição do caldo de cana caleado e aquecido, em 4 repetições. A seguir, o caldo clarificado foi caracterizado com as mesmas análises descritas no item 3.3.2, assim como determinado a Dureza e o Teor de Fosfatos Totais (CTC, 2009), que foram convertidos em porcentagem de remoção.

Nesta etapa utilizou-se caldo da variedade RB855536, coletado do primeiro terno de moagem de unidade produtora de etanol da região de Jaboticabal-SP. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 6 tratamentos (auxiliares de sedimentação) e 4 repetições. Deve-se destacar que não foi utilizado extrato de folhas para comparação, pois ele é um tratamento do ensaio principal, e foi comparado mais detalhadamente.

3.5 Tratamento do caldo

O delineamento experimental desta etapa foi em parcelas subdivididas, sendo os tratamentos principais constituídos por caldos originados de 6 diferentes

variedades de cana (SP80-3280, SP83-2847, CTC4, CTC7, CTC4 e IACSP95-5000); e os secundários representados por 5 diferentes auxiliares de sedimentação (FSC, FOC, extrato de sementes e extrato de folha de moringa, além de tratamento controle). Os ensaios foram replicados 4 vezes.

Após o corte, os colmos foram submetidos a processo de extração por moagem, sendo o caldo peneirado, caleado (pH 7,0), aquecido até ebulição e submetido a processo de decantação por 40 minutos. Nesta etapa adicionou-se previamente no decantador os auxiliares de sedimentação. Após tempo de retenção, o caldo clarificado (sobrenadante) foi recuperado por sifonação, sendo o lodo descartado.

Os caldos extraído e clarificado foi caracterizado com as mesmas análises descritas no item 3.3.2 além de ter sido quantificado a Cor (CTC, 2009) e calculado a porcentagem de remoção de Cor.

3.6 Qualidade do Açúcar

Após realizada a etapa de tratamento de caldo, escolheu-se aleatoriamente 3 variedades de cana, que foram novamente submetidas ao processo de clarificação por caleagem simples utilizando-se os 5 diferentes auxiliares de sedimentação. A seguir os caldos clarificados foram concentrados até Brix 60° em rotoevaporador de simples efeito, originando o xarope. 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” de 0,6mm. 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 1kgf/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 à 40°C com agitação e, em seguida, em estufa à 35°C por 12 horas (Figura 5).

A qualidade do açúcar obtido foi determinada através das análises de Pol, pH, cinzas, umidade, cor, compostos fenólicos (CTC, 2009), compostos inorgânicos (K, Na, Ca, Mg e Fe) (COSTA et al., 2015) e detecção da presença de salmonela

(VERUS MADASA, 2012), coliformes fecais e totais.

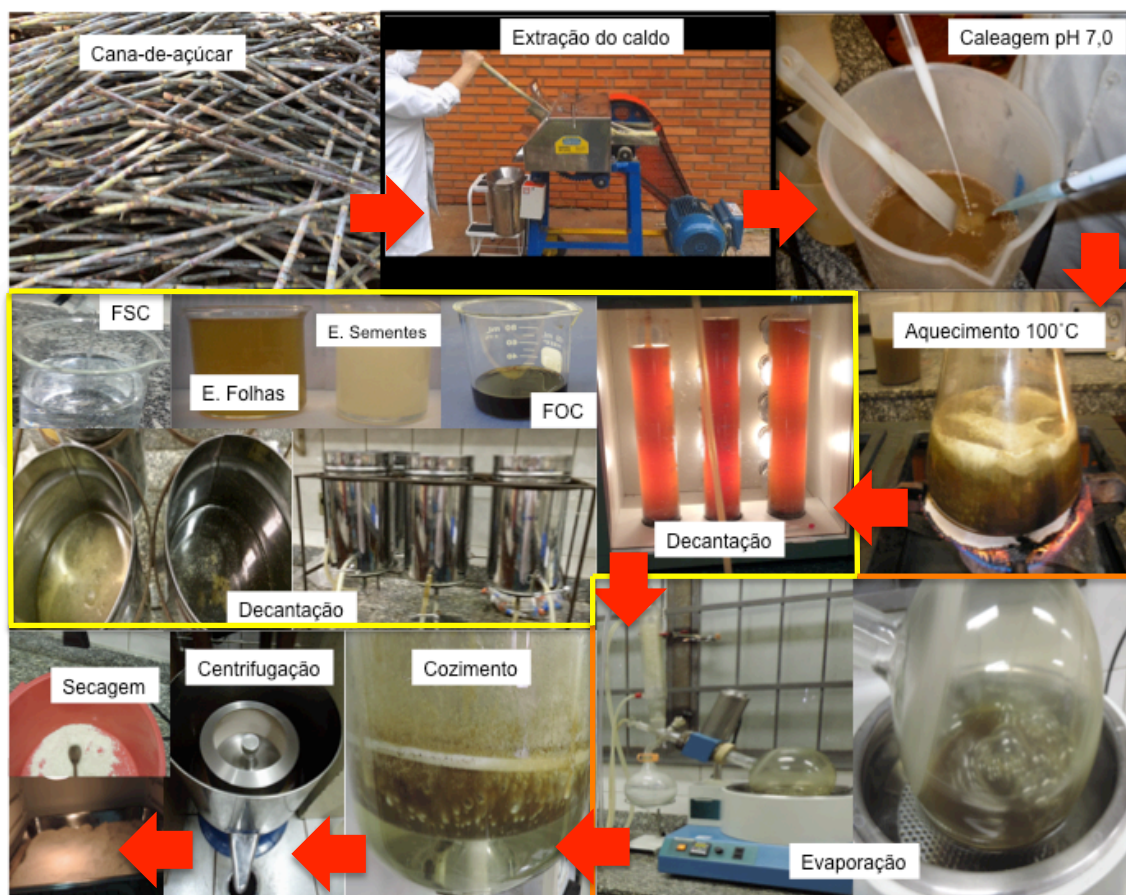


Figura 5 – Processo de produção de açúcar em escala laboratorial.

Fonte: elaboração própria

Para a quantificação de coliformes totais e coliformes fecais foi utilizado o sistema Colilert (IDEXX, 2015), diluindo-se 25g de açúcar em 250mL de água peptonada (0,1% p/p), sendo esta posteriormente inoculada no meio Colilert, seladas e incubadas a uma temperatura de 35°C por 24 horas. A seguir, verificou-se a mudança de coloração do meio. Deve-se destacar que a coloração amarelada indica presença de coliformes totais e presença de luz ultravioleta aponta a presença de coliformes fecais.

O mel resultante da centrifugação da massa cozida foi submetido as análises de Brix, Pol, pureza, pH e compostos fenólicos (CTC, 2009).

3.7 Produção de etanol

3.7.1 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado para avaliar os reflexos do tratamento de caldo com moringa sobre a fermentação foi o em parcelas subsubdivididas com 4 repetições. Os tratamentos principais foram constituídos por duas matérias-primas (caldo clarificado e melaço), os secundário por 5 auxiliares de sedimentação (FSC, FOC, extrato de sementes, extrato de folhas de moringa, além de tratamento controle), e os terciários por 3 variedades de cana-de-açúcar (SP80-3280, CTC4 e CTC14).

3.7.2 Tratamento do caldo para produção de etanol

Os caldos foram obtidos por extração em moenda. Ajustou-se o Brix 16°, sendo posteriormente submetidos ao processo de clarificação por caleagem simples, com elevação do pH até 6,0 e posterior aquecimento até ebulição, adicionando-se os auxiliares de floculação no decantador previamente a adição do caldo aquecido.

Os caldos clarificados foram submetidos às análises de Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Turbidez, Cinzas Totais (CTC, 2009) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN; CIOCALTEU, 1927).

3.7.3 Preparo e caracterização dos mostos

Para obtenção dos mostos de caldo clarificado e melaço (obtenção descrita no item 3.5), realizou-se a padronização destes a Brix 16° e pH 4,5 através da adição de ácido sulfúrico 10N. Na sequência quantificou-se a Acidez Total e os Açúcares Redutores Totais (ART) (CTC, 2009).

3.7.4 Processo Fermentativo

Os mostos foram padronizados a temperatura de 28-32°C e submetidos a inoculação com a fermento biológico (levedura *Saccharomyces cerevisiae*) na concentração de 10^8 Unidades Formadoras de Colônia/mL (UFC/mL). Deve-se destacar que o fermento apresentava Viabilidade Celular superior a 85%.

Todos foram fermentados em erlenmeyers de 250mL, ambiente com temperatura controlada de 30°C (B.O.D.). O processo iniciou-se adicionando-se 100mL de mosto com o fermento previamente adaptado e, após 1 hora, complementou-se o volume com mais 150mL. Considerou-se encerrada a fermentação quando o °Brix apresentou valores inferiores a 1, ou estabilizou-se em período de meia hora.

Após 40 minutos da segunda alimentação (início da fermentação) e no final do processo fermentativo, foram retiradas alíquotas para determinação da viabilidade celular, índice de brotamentos e viabilidade de brotos (LEE et al., 1981).

Ao final do processo, o material fermentado foi centrifugado a 2500g/30°C, para separação da levedura e do vinho, sendo este último submetido as análises de Brix, Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT), pH, Acidez Total (CTC, 2000), glicerol (COPERSUCAR, 2001) e teor alcoólico (leitura em Densímetro Digital Antoon-Paar DMA 500).

3.8 Análise dos Dados

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.7 beta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos Extratos

4.1.1 Diferentes molaridades dos sais sobre o teor de proteínas

Na tabela 1, estão apresentados os resultados obtidos para o teor de proteínas dos extratos de EBK, EBC e EBM em diferentes concentrações. Estas foram utilizadas em ensaios preliminares objetivando estabelecer as concentrações a serem utilizadas nos ensaios posteriores.

Conforme observado, a utilização dos extratos de EBK 1,0mol/L, EBC e EBM 0,1mol/L promoveram as maiores extrações de proteínas presentes nas sementes de moringa, com destaque para o CaCl_2 que resultou em 5531mg/L destas biomoléculas. Tais resultados são inferiores aos obtidos por Madrona et al. (2010), que determinou valores de 9750 até 23400mg/L quando avaliou os extratos de moringa preparados a partir de KCl 0,1 mol/L e KCl 1,0 mol/L. Entretanto, deve-se destacar que os autores não realizaram diálise para esta quantificação, fato que pode ter interferido sobre os resultados.

Tabela 1 – Resultados médios obtidos para o teor de proteínas dos extratos de EBK, EBC e EBM nas concentrações de 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 mol/L.

Concentrações (mol/L)	KCl	CaCl_2	MgCl_2
0,1	465 B	5531 A	2522 A
0,5	1205 A	3223 AB	1571 B
1,0	1258 A	2001 B	1802 B
1,5	864 AB	1879 B	830 C
2,0	731 AB	1877 B	542 C
Teste F	6,55**	8,87**	28,74**
DMS	565	2310	643
CV	28,62	36,4	20,27

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.1.2 Caracterização dos Extratos

Na tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos para Brix, pH, Cinzas Solúveis, Compostos Fenólicos Totais e Proteínas Totais dos extratos brutos, obtidos a partir de solução de KCl 1mol/L (EBK) , CaCl₂ 0,1 mol/L (EBC), MgCl₂ 0,1 mol/L (EBM) e água (EBA).

Observou-se que os extratos brutos obtidos a partir de extração salina apresentaram os maiores teores de sólidos solúveis e cinzas solúveis em relação ao extrato de água. Tais resultados devem-se aos íons de cálcio e potássio presentes nestas soluções, os quais são quantificados nestas análises. Considerando-se que serão posteriormente utilizados como auxiliar de sedimentação no tratamento do caldo de cana, a presença destes compostos pode ser prejudicial, pois podem resultar em resíduos no caldo clarificado, os quais são precursores de incrustações em equipamentos como evaporadores e cozedores de açúcar (DOHERTY; SIMPSON; RACKEMANN, 2008).

Tabela 2 - Resultados obtidos para as análises de Brix, pH, Cinzas Solúveis, Compostos Fenólicos Totais e Proteínas Totais dos extratos brutos EBK, EBC, EBM e EBA.

Extratos	Brix	pH	Cinzas Solúveis (%)	Compostos Fenólicos Totais (mg/L)	Proteínas Totais (mg/L)
EBC	16,4	10,3	14,57	n.d.	5531
EBK	6,9	6,4	12,35	n.d.	2303
EBM	13,4	4,6	13,82	n.d.	2522
EBA	0,4	5,9	0,10	n.d.	689

n.d. = não detectado

Avaliando-se o pH dos extratos, verificou-se características básicas para o extrato a base de CaCl₂ e neutro para os extratos a base de KCl e Água. Tais resultados devem-se as características dos sais, principalmente o cálcio, que é amplamente utilizado em diversos setores industriais como corretor de pH.

Deve-se ressaltar que não foi detectado presença de compostos fenólicos totais nos três extratos.

Considerando-se o teor de proteínas totais, quantificados após diálise dos extratos, verificou-se que a utilização de solução salina, como agente extrator promoveu maiores remoções destas biomoléculas presentes nas sementes, em comparação com a água deionizada. Tais resultados também foram comprovados Madrona et al. (2010). Entretanto, os autores determinaram que a utilização de KCl 1mol/L promove as maiores extrações de proteínas presentes nas sementes da moringa, diferentemente deste ensaio, em que se observou efeito pronunciado quando empregou-se o CaCl_2 0,1mol/L.

Na tabela 3, estão apresentados os valores obtidos para os compostos inorgânicos do extrato bruto EBC 0,1mol/L. Observou-se que este apresentou elevadas concentrações de sódio, potássio e, principalmente, cálcio. Contudo, estes resultados foram diferentes aos avaliados por Costa (2013), que analisando o extrato bruto de água, determinou valores de 62 e 450 mg/L de Na e K respectivamente. Este, entretanto, não detectou a presença de cálcio no extrato. Provavelmente estes íons presentes na solução extrativa, utilizada neste ensaio (CaCl_2 0,1mol/L), impossibilitou a retirada de outros íons presentes na semente, tais como potássio e sódio.

Deve-se destacar que para os demais extratos, não foi realizada esta análise, devido as baixas concentrações de proteínas presentes nos mesmos.

Tabela 3 - Resultados obtidos para as análises de Sódio, Ferro, Manganês, Zinco, Cobre, Potássio, Cálcio e Magnésio do extrato bruto de EBC 0,1mol/L.

	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	K	Ca	Mg
	mg/L							
EBC 0,1mol/L	0,50	0,07	n.d.	0,01	0,01	0,21	2,43	0,02

n.d. = não detectado

4.1.3 Caracterização da proteína da moringa

Na figura 6 está apresentado o cromatograma obtido após o extrato ser submetido a coluna Mono STM 5/50 GL. Neste observa-se que houve separação das proteínas contidas no extrato em oito picos, os quais foram numerados de 1b a 8b.

As proteínas contidas nestes picos foram eluídas e submetidas a eletroforese (SDS-PAGE). Observou-se que somente os poços que representavam os picos de 5b a 8b tinham elevada quantidade de proteínas (Figura 7).

Neste sentido, pode-se verificar ainda que todas elas, apresentavam peso molecular inferior a 14KDa. Este resultado corrobora com Gassenschmidt et al. (2010) e Madrona (2010) que informam que a moringa apresenta proteína com peso molecular entre 6 a 30KDa.

Após nova cromatografia, observou-se que a semente da moringa apresentou duas diferentes proteínas, uma vez que houve fracionamento em dois picos (Figura 8). Fato semelhante foi obtido por Gassenschmidt et al. (1995) que determinou que o extrato de sementes de moringa apresenta duas proteínas que foram denominadas por MO2.1 e MO2.2. Ullah et al. (2015) apontam que estas são proteínas da família 2S-Albumina que apresentam elevada atividade coagulante.

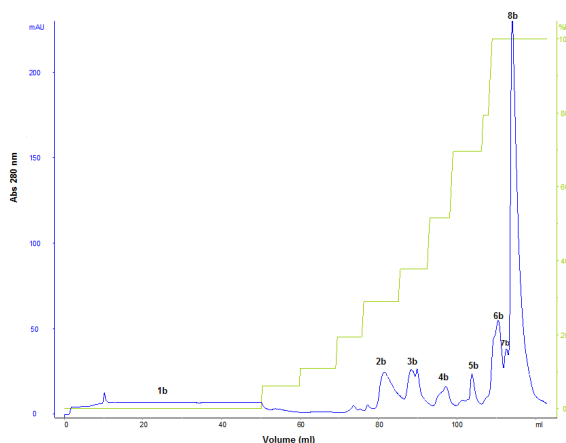


Figura 6 - Perfil de cromatografia de troca catiônica em coluna Mono STM 5/50 GL. Linha azul e verde representa a absorção de luz em 280 nm (UV) e a concentração de sal respectivamente.

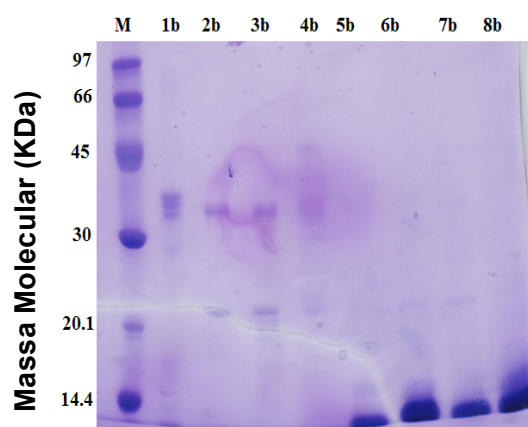


Figura 7 - SDS-PAGE gel de poliacrilamida 12,5% corado com Coomassie Brilliant Blue das amostras referentes aos picos da cromatografia de troca catiônica. M; padrão de massas moleculares (kDa), 1b a 8b as frações correspondentes aos picos 1b a 8b da figura 2. Poço 5b a 8b representa a proteína de interesse.

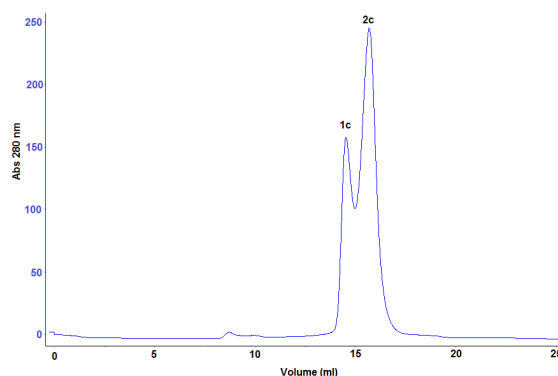


Figura 8 - Perfil de cromatografia de exclusão molecular em coluna Superdex G 75 10/300 GL. Linha azul representa a absorção de luz em 280 nm (UV).

4.2 Teste de dosagem e análises do caldo clarificado

4.2.1 Qualidade do caldo de cana

Para a realização do teste de dosagem, o primeiro passo foi caracterizar o caldo de cana coletado em unidade agroindustrial da região de Jaboticabal-SP (Tabela 4). Todos os valores (Brix, Pol, Pureza, Acidez Total e pH) foram condizentes com informações disponibilizadas por Ripoli e Ripoli (2009), que afirmam que o caldo de cana para processamento deve apresentar Pol superior a 14%, Pureza superior a 85%, Acidez Total inferior a 0,8 g/L H₂SO₄, pH entre 5,0 e 5,3, além de valores de Brix elevados.

Tabela 4 - Resultados obtidos para as análises de Brix, Pol, Pureza, Acidez Total, pH, Turbidez e Cinzas do caldo de cana obtido da variedade RB855536.

	Brix	Pol	Pureza	Acidez Total (g/L H ₂ SO ₄)	pH	Turbidez (NTU)	Compostos Fenólicos (mg/L)	Cinzas Solúveis (%)
Caldo Original	23,2	19,5	85	0,78	5,0	843	510	0,63

Deve-se destacar ainda que o caldo apresentava elevada quantidade de terra, resultando em Turbidez de 843NTU e Cinzas Solúveis de 0,63%.

Na tabela 5 estão representados os valores obtidos para K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn e Fe do caldo extraído da variedades RB855536. Observou-se que o caldo apresentou menores valores que os obtidos por Costa et al. (2015), que estudando os compostos inorgânicos do caldo extraído das variedades RB867515 e RB92579, verificaram teores da ordem de 50, 5, 4, 1250 e 100mg/L para Na, Fe, Mn, K e Ca, respectivamente. Deve-se destacar que estes elementos são constituintes da planta, sejam atuando na sustentação, ou ainda na ação de enzimas, responsáveis pela metabolização do açúcar (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 5 - Resultados obtidos para as análises de Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) do caldo de cana obtido da variedade RB855536.

Caldo Extraído	Na	Fe	Mn	Zn	K	Ca	Mg
mg/L	0,61	3,91	0,35	0,08	0,81	0,37	0,25

4.2.2 EBK

Na tabela 6, estão apresentados os valores médios obtidos para Brix, Pol, pH, Acidez Removida (%), Cinzas Removida (%) e Pureza do caldo de cana clarificado com EBK 1mol/L em 12 diferentes concentrações.

Observou-se que a adição de diferentes doses de EBK não alterou os teores de açúcares presentes no caldo clarificado (Brix, Pol, e Pureza) em comparação ao tratamento em que não se utilizou floculante.

Avaliando-se o pH dos caldos clarificados, verificou-se que maiores concentrações do produto, promoveram decréscimo dos valores. Em contrapartida, todas as doses, assim como o tratamento controle, resultaram em remoções similares de ácidos presentes no caldo clarificado.

Considerando-se a remoção de cinzas, a adição de maiores concentrações deste extrato, promoveu acréscimo deste parâmetro no caldo clarificado. Deve-se destacar que esta metodologia quantifica principalmente o teor de potássio presente em uma solução (ALBUQUERQUE, 2011). Desta maneira, pode-se inferir que maiores doses, resultam em resíduos deste sal no caldo clarificado. Este fato é indesejável para a indústria açucareira, pois o potássio é um composto que promove incrustações em evaporadores e cozedores de açúcar, além de apresentar características melassigênicas (REIN, 2012).

Assim como determinado para a remoção de ácidos, observou-se que todas as dosagens avaliadas resultaram em reduções similares dos teores de Compostos Fenólicos Totais (Tabela 6) e de Turbidez.

Entretanto, a dose de 500mg/L promoveu a maior velocidade de sedimentação (1,0cm/min) e um dos menores volumes de lodo (100mL), sendo considerado a melhor dosagem a ser aplicada para este extrato (Tabela 7).

Tabela 6 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBK 1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)	Cinzas Removidas (%)
Controle	16,9	14,11	83,58	6,2 A	51	14,3
5	16,6	14,31	85,94	6,1 A	47	13,4
10	16,8	14,69	87,47	6,1 A	52	11,6
50	16,8	14,31	84,98	6,1 A	55	0,7
100	16,8	14,26	84,67	6,2 A	53	+8,4
250	16,8	14,76	87,53	6,2 A	54	+37,8
500	16,8	15,26	90,32	5,9 B	48	6,9
800	17,1	14,73	86,09	5,9 B	50	+0,7
1000	17,3	14,36	82,90	5,8 B	49	+5,1
1300	17,2	14,75	85,58	5,9 B	48	+11,5
1600	17,1	14,44	84,67	5,9 B	47	+12,1
2000	17,1	14,30	83,49	5,8 B	45	+25,3
Teste F	0,34ns	0,54ns	0,83ns	14,05**	0,96ns	3,79**
DMS	1,69	2,15	11,22	0,20	15,77	5,74
CV	4,05	6,00	5,32	1,41	12,71	9,52

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Tabela 7 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBK 1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Velocidade Sedimentação (cm/min)	Volume Lodo (mL)	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)
Controle	0,30 B	87 CD	84	58
5	0,41 B	75 D	75	63
10	0,41 B	70 D	78	65
50	0,40 B	82 D	72	61
100	0,40 B	80 D	82	64
250	0,38 B	82 D	72	64
500	1,16 A	100 CD	87	70
800	0,36 B	115 BCD	84	69
1000	1,00 A	115 BCD	86	65
1300	0,65 AB	132 BC	91	64
1600	0,25 B	152 AB	78	64
2000	0,20 B	192 A	87	66
Teste F	7,08**	14,84**	0,98ns	1,69ns
DMS	0,55	47,14	31,46	12,34
CV	45,14	17,85	15,60	7,71

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Na tabela 8 estão apresentados os valores obtidos para K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn e Fe do caldo clarificado com diferentes doses de EBK. De modo geral, observou-se que houve redução para quase todos os compostos inorgânicos presentes no caldo, independente da dose utilizada. Entretanto, houve manutenção dos teores de cálcio no caldo. Este fato é decorrente da utilização de leite de cal para elevação do pH de 5,0 para 7,0-8,0, os quais reagem com fósforo, formando os fosfatos de cálcio, que precipitam. Este comportamento também foi verificado por Costa et al. (2015), que determinaram reduções destes elementos com a utilização de caleagem simples. Ademais, pode-se constatar que doses superiores a 1000mg/L promoveram reduções significativas de ferro em relação as menores concentrações do extrato.

Tabela 8 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBK 1mol/L.

Dosagem (mg/L)	K	Na	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe
	mg/L						
Controle	0,49	0,10	0,15	0,38	0,04	0,12	0,15AB
5	0,46	0,08	0,13	0,44	0,03	0,13	0,20AB
10	0,48	0,07	0,15	0,40	0,05	0,11	0,33A
50	0,44	0,07	0,13	0,39	0,03	0,08	0,14AB
250	0,74	0,08	0,17	0,38	0,06	0,13	0,21AB
1000	0,52	0,07	0,17	0,45	0,03	0,10	0,14AB
1300	0,49	0,10	0,14	0,38	0,02	0,07	0,09B
1600	0,57	0,06	0,20	0,45	0,05	0,11	0,12AB
2000	0,67	0,16	0,13	0,39	0,05	0,08	0,09B
Teste F	1,05ns	1,11ns	0,92ns	0,41ns	1,61ns	1,4ns	2,31*
DMS	0,47	0,13	0,11	0,21	0,05	0,08	0,23
CV	36,48	60,14	31,81	22,20	47,93	31,40	59,51

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.2.3 EBC

Analisando-se os valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Removida (%) e Fenol (%) removido do caldo clarificado com EBC 0,1mol/L (Tabela 9), observou-se que o extrato não resultou em alterações na concentração de açúcares do caldo. Estes dados corroboram com informações de Thai et al. (2012), que afirmam que o sistema de tratamento de caldo por caleagem simples não destrói açúcares do caldo. Neste sentido, pode-se verificar ainda que

as diferentes concentrações não alteraram os valores de pH (6,0) e de Acidez removida (60%).

Na tabela 10 estão apresentados os valores obtidos para velocidade de sedimentação, volume de lodo, turbidez, cinzas e fenóis removidos do caldo clarificado. Analisando-se a velocidade de sedimentação das impurezas, observou-se valores da ordem de 0,29cm/min para todos os tratamentos. Estes resultados são próximos aos obtidos por Costa et al. (2014), que determinaram velocidades de até 0,27cm/min quando não utiliza-se polímero no processo de clarificação do caldo.

Considerando-se o volume de lodo formado no decantador, observou-se valores similares aos obtidos para Thai et al. (2012), que utilizando polímero no processo de clarificação determinaram de 130 a 260mL de lodo formado no decantador. Deve-se destacar que a maior compactação das impurezas no fundo do decantador é importante para a fábrica de açúcar, uma vez que posteriormente este precipitado será filtrado para recuperação de caldo e, quanto maior o volume, maiores serão os desgastes dos filtros, tornando o processo oneroso, diminuindo os rendimentos industriais (REIN, 2012).

Avaliando-se a turbidez removida, observou-se que os resultados foram superiores aos determinados por Andrzejewski et al. (2013), que estudando diferentes sistemas de clarificação do caldo, constataram remoções de 76% de turbidez do caldo de cana clarificado, quando utilizou-se o sistema de caleagem simples com adição de 10ppm de polímero.

Deve-se destacar ainda que houve redução de aproximadamente 24% de cinzas do caldo em relação ao original e 50% do teor de fenóis (Tabela 1). Este fato é interessante, pois alguns autores (HONIG, 1969; ALBUQUERQUE, 2011) afirmam que o processo de caleagem simples não remove fenóis do caldo.

Tabela 9 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBC 0,1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)
Controle	16,2	13,86	85,29	6,0	60
5	16,3	13,86	84,64	6,0	61
10	16,2	13,83	85,03	6,0	60
50	16,1	13,65	84,41	6,0	62
100	16,1	13,94	86,42	6,0	64
250	16,1	13,66	84,62	5,9	64
500	16,2	14,02	86,14	6,0	54
800	16,2	13,28	81,64	6,0	54
1000	16,3	13,60	83,20	6,0	55
1300	16,1	13,77	85,18	5,9	54
1600	16,2	14,31	88,34	6,0	54
2000	16,0	13,35	83,16	5,9	52
Teste F	0,53ns	0,34ns	0,40ns	1,50ns	1,64ns
DMS	0,61	2,36	13,32	0,15	16,72
CV	1,54	6,98	6,37	1,07	11,61

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Tabela 10 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBC 0,1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Velocidade Sedimentação (cm/min)	Volume Lodo (mL)	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)	Cinzas Removidas (%)
Controle	0,25	105 ABC	78 AB	51 ABC	27 A
5	0,29	110 AB	79 AB	53 ABC	27 A
10	0,29	130 A	81 AB	54 AB	27 A
50	0,32	110 AB	75 ABC	52 ABC	26 AB
100	0,27	132 A	80 AB	54 AB	24 AB
250	0,29	107 AB	81 AB	55 A	22 AB
500	0,37	65 C	66 BC	47 C	26 AB
800	0,44	77 BC	55 C	52 BC	23 AB
1000	0,34	115 AB	85 AB	50 ABC	22 AB
1300	0,31	112 AB	88 A	52 BC	23 AB
1600	0,20	140 A	66 BC	50 ABC	21 AB
2000	0,20	120 A	76 AB	53 ABC	21 B
Teste F	1,12ns	6,35**	4,81**	3,47**	3,79**
DMS	0,31	41,92	20,87	7,44	5,74
CV	42,73	15,39	11,08	5,80	9,52

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Comparando-se as concentrações de K, Na, Mg, Ca e Fe no caldo clarificado com diferentes doses de EBC 0,1mol/L (Tabela 11) em relação ao caldo original, observou-se que não houve reduções significativas de K, Na, Mg e Fe.

Entretanto pode-se observar ligeiro acréscimo de Ca. O cálcio residual pode ser resultante do processo de caleagem, uma vez que Andrzejewski et al. (2013), também detectaram aumento de 4 para 8mg/L no caldo clarificado em relação ao caldo original.

Considerando-se as dosagens, pode-se verificar que somente as concentrações de 250 a 1300mg/L foram eficazes para a remoção de Mg, sendo que não houve efeito significativo sobre os demais parâmetros.

Neste contexto, a dosagem de 1300mg/L foi considerada a mais apta a ser utilizada nos ensaios posteriores.

Tabela 11 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBC 0,1mol/L.

Dosagem (mg/L)	K	Na	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe
	mg/L						
Controle	0,04	0,12	0,21AB	0,46	20,40ABC	0,08	0,40
5	0,03	0,11	0,20AB	0,42	24,12ABC	0,07	0,30
10	0,03	0,10	0,20AB	0,41	23,92ABC	0,08	0,28
50	0,04	0,11	0,23A	0,48	15,64BC	0,10	0,41
250	0,03	0,10	0,16 B	0,43	14,02C	0,07	0,29
1000	0,03	0,10	0,21AB	0,48	13,70C	0,10	0,43
1300	0,03	0,11	0,20AB	0,47	13,74C	0,08	0,17
1600	0,03	0,10	0,21AB	0,50	27,19A	0,09	0,26
2000	0,03	0,12	0,21AB	0,50	24,92AB	0,07	0,30
Teste F	1,1 ns	1,68ns	1,92*	2,22ns	5,49 **	1,48ns	0,93ns
DMS	0,02	0,03	0,06	0,10	10,75	0,04	0,41
CV	24,03	9,81	12,96	9,56	22,80	20,48	54,65

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.2.4 EBM

Na tabela 12 estão apresentados os valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez (%) e Fenol removidos (%) para o caldo clarificado com EBM 0,1mol/L. Diferentemente do ocorrido para os demais extratos, verificou-se que as maiores adições deste flocculante promoveu remoções de açúcares do caldo, sendo que a dose de 1000mg/L resultou em reduções de 20% para a Pol e Pureza em relação a dose de 100mg/L.

Neste sentido, pode-se observar ainda que altas concentrações deste extrato diminui a porcentagem de cinzas removidas, possibilitando inferir que há

resíduos de magnésio nestas doses. Condizente com os demais extratos avaliados, o uso de EBM não resultou em diferenças do pH do caldo clarificado e nem da porcentagem de cinzas removidas.

Avaliando-se a velocidade de sedimentação das partículas e o volume de lodo formado (Tabela 13), verifica-se que as diferentes dosagens não refletiram sobre estes parâmetros. Entretanto a concentração de 100mg/L destacou-se por apresentar elevados índices de remoção de turbidez e compostos fenólicos em relação às demais.

Deve-se destacar que não foram apresentados os resultados de compostos inorgânicos do caldo clarificado com EBM 0,1mol/L devido a problemas de ordem técnica durante a realização das análises.

Tabela 12 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBM 0,1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)	Cinzas Removidas (%)
5	17,1 AB	12,69 ABCD	74 ABC	6,2	60	16 A
10	17,4 A	13,77 A	78 AB	6,2	56	16 A
50	17,3 AB	13,86 A	79 AB	6,2	58	13 A
100	17,0 AB	13,99 A	82 A	6,2	58	13 A
250	17,0 AB	13,54 AB	79 AB	6,1	62	8 AB
500	16,2 B	11,96 BCD	73 ABC	6,2	61	16 A
800	16,2 B	11,00 DE	67 C	6,1	59	12 A
1000	16,4 AB	10,88 E	66 C	6,1	58	8 AB
1300	16,3 B	11,56 CDE	70 BC	6,1	59	7 AB
1600	16,4 AB	11,93 BCD	72 ABC	6,0	61	1 B
2000	16,5 AB	13,12 ABC	79 AB	6,0	56	2 B
Teste F	3,72**	9,98**	5,40**	1,55ns	0,65ns	6,69**
DMS	1,13	1,79	11,19	0,27	12,04	9,79
CV	2,78	5,85	6,11	1,82	8,31	38,56

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Tabela 13 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBM 0,1mol/L.

Dosagem (mg/L)	Velocidade Sedimentação (cm/min)	Volume Lodo (mL)	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)
5	0,33	70	62 D	68 A
10	0,26	80	67 CD	69 A
50	0,27	76	60 D	67 A
100	0,26	90	74 ABC	70 A
250	0,25	83	39 E	68 A
500	0,24	57	79 AB	53 B
800	0,25	87	82 A	46 B
1000	0,29	72	80 AB	53 B
1300	0,30	30	68 CD	74 B
1600	0,30	62	72 BC	48 B
2000	0,26	100	80 AB	51 B
Teste F	0,55ns	1,18ns	42,23**	19,78**
DMS	0,18	57,39	9,52	10,97
CV	27,66	29,72	5,58	7,67

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.2.5 EBA

Considerando-se a aplicação de EBA em 12 diferentes concentrações, observou-se que não houve reflexos sobre os teores de Brix e Pol. Todavia, verificou-se que 2000mg/L resultou em impactos negativos sobre a Pureza, reduzindo os valores em até 5%, quando comparado a dose de 250mg/L. Em contrapartida, altas concentrações do extrato promove 9% a mais de remoções de cinzas solúveis presentes no caldo. Outro ponto a ser destacado é que as diferentes dosagens não influenciaram os valores obtidos do pH e da Acidez Removida (%) (Tabela 14).

Na tabela 15 estão apresentados os valores obtidos para velocidade de sedimentação, volume de lodo, Turbidez (%) e Fenol removidos (%). Observou-se que diferentes dosagens deste extrato não afetaram a velocidade de sedimentação e Fenol removido (%). Entretanto, altas concentrações promoveram maiores volumes de lodo e remoções de turbidez do caldo.

Tabela 14 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBA.

Dosagem (mg/L)	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)	Cinzas Removidas (%)
Controle	16,6	13,60	84,71 AB	6,1	51	16 AB
5	16,6	13,89	83,31 AB	6,1	51	16 AB
10	16,7	13,84	82,52 AB	6,1	53	16 AB
50	16,6	13,72	81,50 AB	6,1	52	16 AB
100	16,7	14,29	80,70 AB	6,0	53	14 AB
250	16,3	13,14	85,22 A	6,1	53	20 AB
500	16,8	14,55	82,61 AB	6,0	48	10 B
800	16,8	13,93	80,91 AB	6,0	50	23 AB
1000	17,0	14,42	83,13 AB	6,0	51	23 AB
1300	16,7	14,31	83,29 AB	6,0	49	25 A
1600	16,8	14,65	85,10 A	6,0	50	23 AB
2000	16,9	13,84	80,39 B	6,0	50	23 AB
Teste F	0,79ns	1,37ns	3,09**	1,65ns	0,26ns	2,77**
DMS	1,02	1,85	4,70	0,26	15,12	13,69
CV	2,48	5,37	2,31	1,81	11,94	28,73

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Tabela 15 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBA.

Dosagem (mg/L)	Velocidade Sedimentação (cm/min)	Volume Lodo (mL)	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)
Controle	0,20	82 BC	52 AB	30
5	0,29	72 BC	52 AB	25
10	0,28	72 BC	51 B	24
50	0,23	67 C	50 B	30
100	0,22	65 C	44 B	26
250	0,29	90 ABC	50 B	28
500	0,20	82 BC	62 AB	25
800	0,23	105 AB	64 AB	24
1000	0,23	105 AB	67 AB	22
1300	0,28	117 A	77 A	21
1600	0,27	105 AB	70 AB	30
2000	0,28	105 AB	77 A	23
Teste F	0,94ns	6,41**	4,61**	2,70ns
DMS	0,17	34,76	26,25	9,74
CV	27,78	15,81	17,70	15,10

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Na tabela 16 estão representados os valores obtidos para K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn e Fe do caldo clarificado com EBA. Novamente verificou-se redução significativa dos teores de Zn, Mn e Fe em relação ao caldo extraído, independente da dose utilizada. Entretanto, o uso deste floculante promoveu manutenção de K e Mg, além de resultar em acréscimos de Na e Ca no caldo clarificado. Provavelmente este fato é decorrente da utilização de água destilada no preparo do extrato. Nesta situação, os compostos inorgânicos presentes nas sementes tendem a serem removidos mais facilmente, pois saem de um meio mais concentrado com sais, para um de menor concentração, em um fenômeno denominado osmose. Considerando-se as dosagens, observou-se que 250mg/L promoveu menores teores de Na e Zn no caldo clarificado em relação as demais.

Tabela 16 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens de EBA.

Dosagem (mg/L)	K	Na	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe
	mg/L						
Controle	0,84	1,84A	0,20	0,46	0,02CD	0,09AB	0,65
5	0,55	0,09B	0,19	0,44	0,06A	0,10A	0,36
10	0,64	0,12B	0,23	0,46	0,04ABCD	0,09AB	0,66
50	0,67	0,10B	0,24	0,47	0,05AB	0,09AB	0,60
250	0,71	0,12B	0,22	0,48	0,01D	0,09AB	0,55
1000	0,59	0,07B	0,25	0,45	0,04ABC	0,08AB	0,43
1300	0,68	0,15B	0,21	0,43	0,03ABCD	0,06B	0,43
1600	0,75	1,63A	0,25	0,50	0,01D	0,07AB	0,40
2000	0,68	1,65A	0,24	0,47	0,02BCD	0,06B	0,38
Teste F	1,05ns	13,28**	1,56ns	1,36ns	6,53**	3,30**	1,77ns
DMS	0,38	1,37	0,08158	0,09	0,03	0,03	0,43
CV	23,94	60,91	14,99	8,75	39,16	16,68	36,33

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.2.6 Extrato de Folhas

Avaliando-se a velocidade de sedimentação, volume de lodo, turbidez e compostos fenólicos removidos, verificou-se diferenças entre os tratamentos apenas no volume de lodo formado no decantador (Tabela 17). As doses superiores a 500mg/L resultaram em menores volumes de lodo, indicando maior compactação do lodo no fundo do equipamento. Este fato é interessante para a unidade industrial, pois há menor quantidade de lodo para ser filtrado, resultando

em menores desgastes dos filtros (ALBUQUERQUE, 2011). Estes valores foram inferiores aos obtidos por Costa (2013), que estudando doses do extrato de folhas de moringa de 5 a 20mg/L, determinaram volumes médios de 190mL.

Tabela 17 – Velocidade de sedimentação, Volume de Lodo, Turbidez e Compostos Fenólicos do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.

Dosagem (mg/L)	Velocidade Sedimentação	Volume Lodo	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)
Controle	0,39	112 AB	81	51
5	0,47	100 B	80	46
10	0,46	102 AB	79	50
50	0,46	107 AB	78	47
100	0,41	112 AB	82	46
250	0,43	170 A	81	39
500	0,43	60 B	82	55
800	0,42	75 B	84	53
1000	0,42	75 B	84	50
1300	0,41	100 B	83	45
1600	0,42	82 B	80	52
2000	0,42	75 B	84	51
Teste F	0,29ns	4,34**	0,58ns	1,08ns
DMS	0,22	67,64	12,26	20,11
CV	20,95	28,07	6,06	16,60

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Na tabela 18 estão apresentados os valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Removida e Cinzas Removida do caldo clarificado com diferentes doses do extrato de folhas de moringa. De modo geral, observou-se que o tratamento por caleagem simples não alterou a quantidade de açúcares presentes no caldo. Entretanto, as dosagens de 1000 e 1600 mg/L promoveram ligeiro decréscimo do teor de sacarose aparente, resultando em ligeira queda de pureza do caldo.

Deve-se considerar ainda que as diferentes dosagens utilizadas não apresentaram efeitos sobre a quantidade de ácidos e cinzas removidas. Contudo, a utilização da dose de 800mg/L promoveu os menores valores de pH, da ordem de 0,5 pontos. Neste sentido, pode-se inferir que embora a estatística apontou

diferenças entre os tratamentos, estas são pequenas para que possa apresentar reflexos diretos sobre o caldo, como por exemplo, inversão ácida da sacarose a baixos teores de pH, ou degradação alcalina desta molécula resultante de clarificação em faixas de pH elevadas, reações estas não constatadas neste ensaio, pois não houve alteração das concentrações de açúcar (HONIG, 1969).

Na tabela 19 estão apresentados os valores obtidos para K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn, e Fe do caldo clarificado com diferentes dosagens do extrato de folhas de moringa. Considerando-se o K, observou-se que as doses de 10, 1000 e 1300mg/L promoveram os menores valores deste elemento no caldo clarificado em relação as demais. Entretanto deve-se destacar que houve significativa redução dos teores deste elemento, contrariando Honig (1969), que afirma que o processo de caleagem simples não remove potássio do caldo clarificado. Avaliando-se os teores de Na, verificou-se acréscimo significativo deste elemento em relação ao caldo extraído. Este fato é decorrente da elevada presença de Na no extrato de folhas de moringa, sendo que o processo de tratamento de caldo utilizado não reduz os teores deste elemento do caldo clarificado (DELGADO; CESAR, 1977).

Tabela 18 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.

Dosagem (mg/L)	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)	Cinzas Removida (%)
Controle	16,7	14,14 AB	84,32	6,2AB	53	28
5	17,0	14,93 AB	87,74	6,2AB	48	28
10	16,9	15,53 A	91,93	6,2AB	49	29
50	16,7	15,16 AB	90,43	6,2AB	53	30
100	16,7	15,01 AB	89,44	6,2AB	51	29
250	17,0	14,80 AB	87,08	6,3A	50	30
500	16,5	14,15 AB	85,68	6,2AB	48	32
800	16,5	14,36 AB	86,71	6,1B	54	32
1000	16,4	13,31 B	81,16	6,2AB	51	31
1300	16,4	14,01 AB	85,11	6,2AB	48	32
1600	16,6	13,23 B	79,41	6,2AB	47	31
2000	16,4	13,76 AB	83,51	6,2AB	43	32
Teste F	1,58ns	3,17**	1,88ns	2,78*	0,74	1,04ns
DMS	0,80	2,02	13,15	0,21	14,28	8,38
CV	1,95	5,71	6,21	1,38	11,52	11,03

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Ademais, verificou-se que as concentrações de 10 a 1600 mg/L resultaram em maiores remoções de Ca, do caldo clarificado em relação as demais.

Entretanto, os valores foram similares aos apresentados pelo caldo extraído. Para o Mg, observou-se que o uso de 2000mg/L de extrato de folhas como floculante promoveu manutenção deste composto no caldo clarificado. Este fenômeno pode ser decorrente dos elevados teores de Mg presentes no extrato de folhas, que foram da ordem de 0,71mg/L.

Considerando os resultados obtidos neste ensaio, determinou-se a dose de 800mg/L como a ideal para ser utilizado nos experimentos futuros.

Tabela 19 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com diferentes dosagens do extrato de Folhas.

Dosagem (mg/L)	K	Na	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe
	mg/L						
Controle	0,52B	1,74ABC	0,18AB	0,39AB	0,02	0,16	0,33
5	0,63AB	3,49A	0,19AB	0,44A	0,02	0,14	0,30
10	0,48B	2,65ABC	0,16AB	0,37BC	0,02	0,14	0,31
50	0,63AB	2,41ABC	0,19AB	0,39ABC	0,02	0,15	0,33
250	0,58AB	0,59C	0,16AB	0,38BC	0,02	0,14	0,27
800	0,51B	3,31AB	0,15AB	0,37BC	0,01	0,12	0,31
1300	0,46B	2,84ABC	0,14B	0,34C	0,02	0,11	0,22
1600	0,57AB	1,59ABC	0,15AB	0,37BC	0,01	0,10	0,27
2000	0,70AB	2,29ABC	0,20A	0,40AB	0,03	0,13	0,38
Teste F	4,04**	3,17**	3,19**	6,18**	1,76ns	1,86ns	1,55ns
DMS	0,25	2,70	0,05	0,05	0,02	0,05	0,16
CV	17,70	51,79	14,27	5,70	40,61	18,08	22,56

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.3 Comparação entre os floculantes

Após determinada a concentração ideal de cada extrato, o próximo passo foi realizar nova clarificação comparando as melhores dosagens destes auxiliares de sedimentação com o FSC, a fim de determinar a eficácia destes extratos e constatar a similaridade com o polímero utilizado pelas indústrias atualmente.

Na tabela 20 estão apresentados os valores médios obtidos para a velocidade de sedimentação, volume de lodo, Turbidez (%), Dureza (%), Fosfatos (%) e Fenol removidos (%) do caldo clarificado. Observou-se que a utilização de FSC e do EBC proporcionaram as maiores velocidades de sedimentação e porcentagem de turbidez removidas. Estes valores foram similares aos obtidos por Costa et al. (2014a; 2014b), que avaliando a clarificação do caldo de cana

utilizando FSC Flomex 9034, determinou velocidades de 2,72, 2,05, 3,11 e 3,06cm/min para as variedades RB92579, RB867515, RB855156 e SP83-2847 respectivamente. Neste sentido pode-se inferir que a utilização de EBC promove processo de decantação/sedimentação similar ao provocado pelo método tradicional empregado nas unidades industriais. Deve-se destacar ainda que os floculantes não afetaram o volume de lodo e a dureza do caldo clarificado, todavia, a utilização de EBM resultou em menor teor de Fenol removido (%).

Tabela 20 – Velocidade de Sedimentação, Volume de Lodo, Dureza (%), Fosfatos (%), Turbidez (%) e Fenol Removido do caldo de cana clarificado (%) com os auxiliares de sedimentação FSC (1,5mg/L), EBA (250mg/L), EBK 1mol/L (500mg/L), EBC 0,1mol/L (1300mg/L) e EBM 0,1mol/L (100mg/L).

Auxiliar de Sedimentação	Velocidade Sedimentação (cm/min)	Volume Lodo (mL)	Dureza Removida (%)	Fosfato Removida (%)	Turbidez Removida (%)	Fenol Removido (%)
Controle	0,67 C	96	41	33 B	14 B	52 A
FSC	3,91 A	90	43	27 BC	62 A	54 A
EBA	2,55 ABC	108	41	28 B	34 AB	54 A
EBK	3,06 AB	116	43	49 A	34 AB	53 A
EBC	2,90 AB	140	42	16 C	58 A	54 A
EBM	1,37 BC	114	46	29 B	25 B	47 B
Teste F	6,20**	1,06ns	1,41ns	16,13**	6,41**	5,46**
DMS	2,08	74,67	7,04	11,70	32,66	5,10
CV	44,09	34,53	8,38	19,42	43,67	4,94

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Estas conclusões podem ser suportadas pelos valores obtidos a partir da caracterização do caldo clarificado (Tabela 21), os quais demonstram que a utilização de auxiliares de sedimentação não afeta a quantidade de açúcares, assim como descrito por Albuquerque (2011), pH e Acidez Removida (%).

A aplicação de EBK, assim como observado nos testes de dosagem, promoveu decréscimo dos índices de remoções de cinzas do caldo clarificado, podendo ter resultado em resíduos deste produto. Esta informação contradizem relatos de Costa et al. (2014a), que demonstram que o tratamento por caleagem simples, utilizando ou não floculantes, não reduz o teor de cinzas solúveis do caldo clarificado. Conforme resultados apresentado neste relatório a redução do teor de cinzas no tratamento de caldo impacta positivamente sobre a qualidade do açúcar

(REIN, 2012). Em contrapartida, este extrato resultou em maiores remoções de fosfatos do caldo.

Tabela 21 – Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Cinzas do caldo de cana clarificado com os auxiliares de sedimentação FSC (1,5mg/L), EBA (250mg/L), EBK 1mol/L (500mg/L), EBC 0,1mol/L (1300mg/L) e EBM 0,1mol/L (100mg/L).

Auxiliar de Sedimentação	Brix	Pol	Pureza	pH	Acidez Removida (%)	Cinzas Removida (%)
Controle	16,9	13,25	78	6,1	50	18 A
FSC	16,8	13,63	80	6,1	50	19 A
EBA	16,8	13,83	81	6,1	50	18 A
EBK	16,7	13,88	83	6,1	51	10 B
EBC	16,6	13,81	82	6,0	50	16 A
EBM	16,7	13,74	82	6,1	50	16 A
Teste F	0,24ns	0,90ns	1,07ns	1,16ns	0,18ns	9,89**
DMS	0,94	1,07	7,44	0,16ns	5,92	4,38
CV	2,88	4,01	4,76	1,34	6,01	13,62

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

Na tabela 22 estão representados os valores obtidos para K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn e Fe do caldo clarificado com diferentes extratos. Determinou-se diferenças apenas quando avaliou-se os teores de ferro presentes no caldo clarificado, sendo que os extratos EBK, EBC e EMB resultaram em remoções de aproximadamente 0,50mg/L de Fe a mais que o FSC.

Tabela 22 – Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) do caldo de cana clarificado com os auxiliares de sedimentação FSC (1,5mg/L), EBA (250mg/L), EBK 1mol/L (500mg/L), EBC 0,1mol/L (1300mg/L) e EBM 0,1mol/L (100mg/L).

Auxiliar de Sedimentação	K	Na	Mg	Ca mg/L	Zn	Mn	Fe
Controle	1,01	0,11	0,21	0,47	0,04	0,11	1,03ABC
FSC	0,98	0,11	0,23	0,47	0,03	0,12	1,06AB
EBA	0,85	0,09	0,19	0,42	0,03	0,10	1,14A
EBK	0,86	0,09	0,20	0,48	0,03	0,09	0,56CD
EBC	0,92	0,09	0,20	0,43	0,03	0,08	0,53D
EBM	0,84	0,11	0,19	0,41	0,03	0,09	0,62BCD
Teste F	2,42ns	1,93ns	1,80	2,57ns	0,98ns	2,49ns	6,47**
DMS	0,21	0,03	0,05	0,08	0,02	0,04	0,49
CV	10,28	13,39	10,87	8,90	28,31	17,38	26,78

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação

4.4 Produção de açúcar

4.4.1 Qualidade do caldo extraído

Os resultados obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez Total, Fosfatos Totais, CFT, Cinzas Totais Turbidez e Cor do caldo extraído estão apresentados na tabelas 23, 24 e 25. Deve-se destacar que não foi realizado análise estatística, uma vez que utilizou-se a mesma matéria-prima para condução do experimento.

Considerando-se que em seu estágio de maturação a cana-de-açúcar apresenta valores de Pol e Pureza superiores a 14 e 85%, respectivamente, além de Acidez Total inferior a 0,80g/L H₂SO₄ (RIPOLI; RIPOLI, 2009), observou-se que de modo geral todas apresentavam-se aptas a serem processadas. Entretanto deve-se destacar que a SP83-2847, embora apresenta-se Pol próxima a 18%, ainda havia muitos compostos não sacarose dissolvidos, fato o qual comprometeu a Pureza do material. Este fato pode ser confirmado pelos teores de Cinzas Solúveis obtidos, que foram superiores a 1%. Comportamento similar foi verificado para as variedades CTC7, IACSP95-5000 e CTC14, das quais determinou-se índices de Acidez Total superior a 1,0g/L. Contudo, a maturação da cana não pode ser definido por um único parâmetro somente, pois este pode ser comprometido por outros fatores, como o ataque de pragas, ação de intempéries, entre outros.

Analisando-se os teores de Fosfatos Totais presentes no caldo extraído das 6 diferentes variedades, determinou-se que todas apresentavam teores adequados, considerando-se que para eficiente clarificação do caldo de cana, a matéria-prima deve conter valores próximos a 300mg/L.

Avaliando-se os CFT, verificou-se que todas variedades apresentavam teores superiores a 400mg/L, sendo a SP80-3280 e CTC7 com valores de 625 e 814mg/L respectivamente. Estes compostos são prejudiciais a tecnologia açucareira, uma vez que pode reagir com íons de ferro e oxigênio durante o processamento, originando compostos de elevada coloração, que pode resultar em açúcar mais escuro (GODSHALL, 1999). Por outro lado, os fenóis também são prejudiciais a fermentação etanólica realizada pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, uma vez que inibe seu desenvolvimento metabólico, resultando em morte celular (RAVANELI et al., 2011).

Outro ponto a ser destacado nos resultados obtidos para o caldo extraído é a Cor, que foi próxima a 30.000 U.I. para as variedades SP80-3280, CTC4, CTC7 e IACSP95-5000, e de 11.776 U.I. para a SP83-2847 e CTC14. Costa et al. (2014) determinaram valores de Cor para o caldo extraído de 16.000 e 8.000U.I para as variedades RB92579 e RB867515. Este parâmetro é importante pois pode-se realizar estimativa da qualidade do açúcar a ser obtido no final do processamento.

Tabela 23 – Valores obtidos para Brix, Pol e Pureza do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Variedades	Brix	Pol	Pureza
SP80-3280	24,7	21,79	88
CTC4	24,0	21,79	88
CTC7	25,1	21,82	86
IACSP95-5000	22,5	18,87	85
SP83-2847	22,7	18,24	80
CTC14	19,7	19,11	95

Tabela 24 – Valores obtidos para pH, Acidez Total e Fosfatos Totais do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Variedades	pH	Acidez Total	Fosfatos Totais
		g/L H ₂ SO ₄	mg/L
SP80-3280	5,0	0,79	356
CTC4	5,0	0,79	445
CTC7	5,0	1,30	561
IACSP95-5000	4,9	1,21	282
SP83-2847	5,1	0,79	1151
CTC14	5,0	1,36	525

Tabela 25 – Valores obtidos para Cinzas Totais, Compostos Fenólicos Totais (CFT), Cor e Turbidez do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Variedades	Cinzas Totais	CFT	Cor	Turbidez
	%	mg/L	U.I.	NTU
SP80-3280	0,49	625	33.633	508
CTC4	0,49	492	35.729	508
CTC7	0,98	701	26.647	892
IACSP95-5000	0,90	437	37.525	1046
SP83-2847	1,06	433	11.776	1128
CTC14	0,78	448	11.776	969

Na tabela 26 estão representados os valores obtidos para K, Ca, Na, Mg, Mn e Zn do caldo extraído das 6 variedades utilizadas no ensaio. Observou-se que a variedade IACSP95-5000 apresentou os maiores teores de compostos inorgânicos em relação as demais. Costa et al. (2015) determinaram concentrações de 1mg/L de Fe, 0,8mg/L de Mn, 120mg/L de Ca, 500 mg/L de K, 80mg/L de Na e 150mg/L de Mg para o caldo extraído da variedade RB92579. Deve-se destacar que os teores de compostos inorgânicos no caldo da cana está diretamente relacionada aos tratos culturais imprimidos pela unidade industrial, uma vez que estes elementos são absorvidos pela planta (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Tabela 26 – Valores obtidos para Fe, Na, Ca, Mg e K do caldo extraído das variedades de cana-de-açúcar SP80-3280, CTC4, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Variedades	Fe	Na	Ca	Mg	K
	mg/L				
SP80-3280	6,5	13	9	4,5	8,75
CTC4	7,2	7,2	6,0	3,75	8,75
CTC7	10,75	13,25	8,5	4,25	40,5
IACSP95-5000	28,75	7,75	6,5	5,5	63,25
SP83-2847	12,25	0	4,75	2,5	17,5
CTC14	24,25	2,5	2,5	3,75	68

4.4.2 Tratamento do caldo

Após caracterização do caldo de cana, o próximo passo foi avaliar o processo de tratamento do caldo, assim como a qualidade do caldo clarificado obtido. Neste sentido estão apresentados nas figuras 9 e 10 os valores obtidos para Velocidade de Sedimentação e Volume de Lodo.

Considerando-se as variedades observou-se que apenas a SP83-2847 não promoveu sedimentação de impurezas, independente do flocculante utilizado, fato este constatado pelo velocidade próximo a 0, e volume de lodo próximo a 1000mL. Provavelmente a elevada concentração de fósforo presente no caldo extraído afetou negativamente este processo, uma vez que grandes teores deste elemento promove a formação de lodos muito volumosos (HONIG, 1969).

Avaliando-se o efeito dos flocculantes sobre a velocidade de sedimentação, verificou-se que o FSC apresentou maiores valores em comparação aos demais. O

extrato de sementes de moringa apresentou considerável eficiência apenas para a variedade CTC4. Estes resultados corroboram com os determinados por Costa et al. (2014a), que avaliou velocidade de 2cm/min para o polímero Flomex 9076 e 0,20cm/min para os tratamentos em que se utilizaram extrato de folhas de moringa e controle.

Analisando-se o volume de lodo formado observou-se que, de modo geral, apenas o FCS e o extrato de sementes de moringa promoveram baixos volumes em comparação aos demais. Estes resultados foram inferiores aos quantificados por Costa et al. (2014b), que avaliando o processo de clarificação do caldo resultante de processamento das variedades RB855156 e SP83-2847, determinaram valores próximos a 25%. Este fato é importante para a fábrica de açúcar pois há menores quantidades de lodo para serem destinadas aos filtros rotativo ou prensa, resultando em menor desgaste do equipamento, menor consumo de energia e, conseqüentemente, maior eficiência de processo (REIN, 2012). Deve-se destacar ainda que apenas a clarificação de caldo da variedade SP83-2847 não resultou em acúmulo de lodo no fundo do decantador, comportamento similar ao determinado para a velocidade de sedimentação.

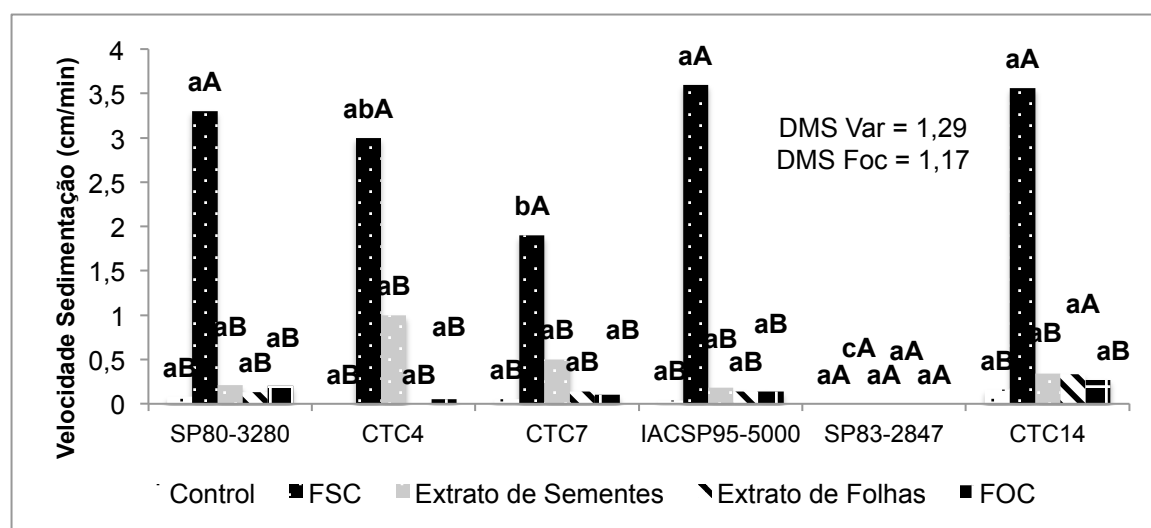


Figura 9 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Velocidade de Sedimentação. Letras minúsculas comparam variedades. Letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

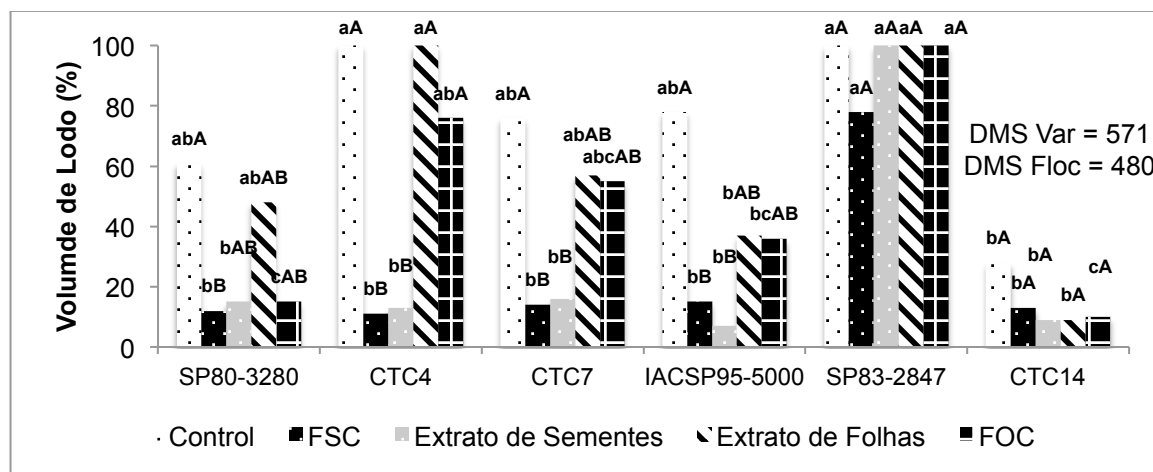


Figura 10 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Volume de Lodo. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Na tabela 27 estão apresentados os valores médios obtidos para Brix, Pol, Pureza e pH do caldo clarificado. Considerando-se a qualidade do caldo obtido da clarificação de 6 diferentes variedades, observou-se que a CTC7 apresentou aproximadamente 1% a mais de Brix em relação as demais. O aumento do Brix do caldo clarificado em relação ao extraído (16%) ocorre em função do processo de aquecimento e flasheamento do caldo, o qual elimina vapores de água, resultando na ligeira concentração de sólidos. Entretanto, deve-se destacar que, embora os valores de Brix foram ligeiramente similares, a quantidade de sacarose aparente das variedades SP83-2847 e CTC14 foi significativamente menor em relação as demais, fato que refletiu diretamente sobre a Pureza das amostras.

Avaliando-se o pH, observou-se que estes foram da ordem de 6,3. Tais resultados são similares aos obtidos por Costa et al. (2014a e 2014b). A redução deste parâmetro ocorre decorrente da remoção do hidróxido de cálcio por precipitação, o qual é eliminado pelo lodo (ALBUQUERQUE, 2011). Contudo, deve-se atentar para valores inferiores a 6,0, pois em baixo pH, a molécula de sacarose pode sofrer inversão em glicose e frutose, as quais não são cristalizáveis (HONIG, 1969).

Comparando-se o efeito dos auxiliares de sedimentação sobre a quantidade de açúcares do caldo, verificou-se que estes não influenciaram este parâmetro, embora os valores de Brix do caldo clarificado com FSC foi ligeiramente maior.

Tais resultados também foram verificados por Andrzejewski et al. (2013) e Costa et al. (2014a e 2014b). Neste sentido, deve-se destacar ainda o pH obtido para o caldo clarificado, que foi menor para os tratamentos FSC e Extrato de Sementes. Provavelmente houve maior remoção de íons de cálcio pela borra.

Na tabela 28 estão os valores obtidos para Fosfatos Totais, Fosfatos Totais Removido, Cinzas Solúveis e Cinzas Removida. As remoções de fosfatos foram da ordem de 150 a 200mg/L em relação ao caldo extraído, com exceção da variedade SP80-3280, que houve redução de apenas 56g/L de fosfatos totais. Neste sentido, a IACSP95-5000 que apresentava teores da ordem de 282mg/L de fosfatos no caldo extraído apresentou as maiores porcentagens de remoções em relação as demais, as quais determinou-se teores superiores a 350mg/L. Deve-se ressaltar que a diminuição destes teores é esperado, uma vez que estas moléculas reagem com os íons de cálcio adicionados, tornam-se insolúveis, e se precipitam, adsorvendo e arrastando compostos orgânicos e inorgânicos para o fundo do decantador (SIMPSON, 1996).

Analisando-se os teores de cinzas solúveis nos caldos clarificados, verificou-se comportamento similar aos observados no caldo extraído, onde as variedades SP80-3280 e CTC4 apresentaram os menores teores em relação as demais. Neste sentido, pode-se afirmar ainda que as variedades que apresentam menores teores de cinzas em sua constituição tecnológica, resultará em maiores remoções em relação a variedades com elevadas concentrações de potássio, sódio, cálcio e magnésio. Costa et al. (2014a) também determinaram que os teores de cinzas solúveis variam de acordo com a matéria-prima processada e, em alguns casos, pode aumentar significativamente no caldo clarificado em relação ao extraído, resultante do acréscimo de cálcio no processo. Admite-se que quanto maior a quantidade de leite de cal adicionada, maior a possibilidade de aumento de cinzas do caldo clarificado. Estes casos ocorrem principalmente com matérias-primas ricas em ácido aconítico, que por reagir com o cálcio, demanda grandes quantidades de leite de cal durante o tratamento para obtenção neutralidade do caldo (HONIG, 1969). Estas cinzas podem resultar em incrustações nos evaporadores (WALTHER et al., 1998; DOHERTY et al., 2011), além de ficarem retidas nos cristais de açúcar (ALBUQUERQUE, 2011).

Considerando-se os efeitos dos floculantes sobre os teores de fosfatos totais e cinzas solúveis, observou-se que estes não apresentam reflexos sobre estes parâmetros.

Tabela 27 – Valores médios obtidos para Brix, Pol, Pureza e pH do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Brix	Pol	Pureza	pH
Variedades (V)		%		
SP80-3280	16,4B	15,43A	93,76A	6,4A
CTC4	16,5B	15,39AB	86,28B	6,3A
CTC7	17,6A	14,26ABC	80,76B	6,2AB
IACSP95-5000	16,9AB	14,36ABC	84,61B	6,2B
SP83-2847	16,5B	13,87BC	83,91B	6,3AB
CTC14	16,4B	13,27C	80,64B	6,2AB
Teste F	5,59**	6,01**	10,54**	5,09**
DMS	0,89	1,55	6,67	0,13
CV	5,29	10,73	7,82	2,20
Auxiliares de sedimentação (A)				
Controle	16,7AB	14,48A	85,36A	6,3A
FSC	16,9A	14,50A	84,61A	6,2B
Extrato de sementes	16,6B	14,31A	84,94A	6,2B
Extrato de folhas	16,8AB	14,42A	84,99A	6,3A
FOC	16,7B	14,43A	85,08A	6,3A
Teste F	4,22**	0,32ns	0,11*	7,71**
CV	1,50	4,28	4,56	1,64
DMS	0,20	0,49	3,13	0,08
Inter. VxA	1,21ns	0,79ns	0,59ns	0,90ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxA – Interação entre variedade e auxiliares de sedimentação

Na figura 11 está apresentado o desdobramento obtido para Acidez Total do caldo clarificado por 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. De modo geral, observa-se que o processo de tratamento do caldo removeu ácidos para todas as variedades utilizadas. Contudo, a clarificação do caldo das variedades SP80-3280 e CTC4 resultou em menores teores em relação as demais. Deve-se destacar que estas duas variedades já apresentavam baixas quantidades de ácidos em relação as demais. Analisando-se o índice de remoção, observa-se que houve maiores remoções para as variedades CTC7, IACSP95-5000 e CTC14, sendo estas da ordem de 0,80g/L H₂SO₄. Esta

redução de acidez é decorrente do processo de caleagem simples, o qual remove ácidos através de processo de adsorção promovido pelos flocos de fosfatos de cálcio (HONIG, 1969).

Considerando-se a ação dos floculantes sobre os teores de ácidos no caldo clarificado, nota-se que estes apresentaram comportamentos diferentes para cada variedade de cana avaliada. Entretanto, o tratamento que apresentou as menores médias para cada variedade foi o extrato de sementes de moringa. Provavelmente neste extrato há compostos que reagem com os ácidos presentes no caldo de cana, sendo facilmente removido por sedimentação. Todavia, se faz necessário novos estudos para caracterizar todos os compostos presentes neste extrato.

Tabela 28 – Valores médios obtidos para Fosfatos Totais, Fosfatos Totais Removido, Cinzas Solúveis e Cinzas Removida do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Fosfatos Inorgânicos	Fosfatos Removidos	Cinzas Solúveis	Cinzas Removida
Variedades (V)	mg/L		%	
SP80-3280	300,79B	15D	0,31B	35A
CTC4	281,20B	36C	0,33B	31AB
CTC7	358,98A	36C	0,73A	24ABC
IACSP95-5000	85,69D	69B	0,75A	16CD
SP83-2847	190,62C	83A	0,85A	19BCD
CTC14	350,64A	33C	0,80A	9D
Teste F	188,35**	202,92**	41,21**	9,92**
DMS	34,40	8,00	0,16	14,04
CV	13,11	17,39	26,67	61,20
Auxiliares de Sedimentação (A)				
Controle	271,41	43	0,63	23
FSC	253,47	48	0,64	22
Extrato de sementes	253,95	46	0,66	20
Extrato de folhas	265,91	45	0,62	21
FOC	261,87	45	0,60	26
Teste F	0,96ns	1,20ns	1,63ns	1,63ns
CV	14,73	16,54	13,63	33,65
DMS	31,12	6,12	0,06	6,21
Inter. VxA	1,49ns	1,90ns	0,95ns	0,94ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxA – Interação entre variedade e auxiliares de sedimentação

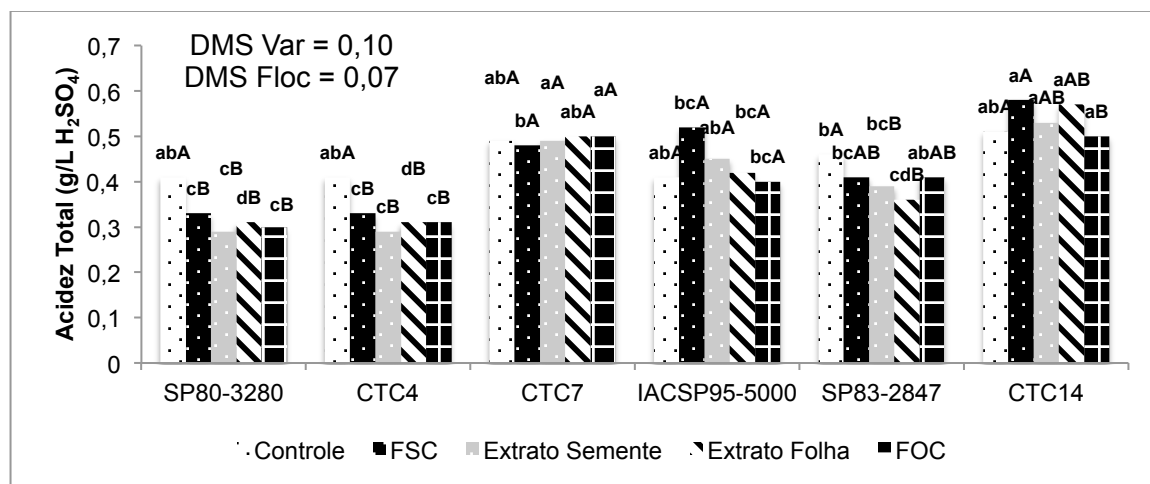


Figura 11 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Acidez Total do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Avaliando-se a turbidez do caldo clarificado (Tabela 29), observou-se que os maiores valores foram obtidos a partir da clarificação da variedade SP83-2847, sendo que as demais não resultaram em diferenças estatísticas. Este fato está diretamente relacionado com a não sedimentação do lodo desta variedade, resultando em maiores partículas em suspensão, as quais são quantificadas pelo turbidímetro. Neste sentido, os resultados de índices de remoções de turbidez foram convergentes aos obtidos para o primeiro parâmetro (Tabela 20). Entretanto, comparando-se os efeitos dos auxiliares de sedimentação, verificou-se que a utilização de FSC promoveu caldo mais límpido em relação as demais, alcançando índices de remoção de turbidez da ordem de 77%. Os auxiliares de sedimentação orgânicos removeram aproximadamente 57% da turbidez do caldo, enquanto que somente a caleagem simples resultou na redução de 41% da turbidez do caldo. Contudo, a eficiência do auxiliar de sedimentação na remoção de turbidez está relacionado diretamente a variedade, uma vez que Costa et al. (2014b) obteve índices de 45% utilizando-se FSC Flomex 9034 (2 mg/L) ao processar as variedades RB855156 e SP83-2847.

Na figura 12 está apresentado a interação entre variedades e auxiliares de sedimentação para a quantidade de compostos fenólicos totais no caldo clarificado. De modo geral, verifica-se que houve redução significativa dos teores,

principalmente para as variedades SP80-3280, CTC4 e CTC7, as quais apresentavam os maiores valores destas biomoléculas no caldo extraído. Estes resultados são similares aos observados por Costa et al. (2014a e 2014b), que constatarem a remoção de fenóis pelo processo de caleagem simples. Alguns autores citam que este processo físico-químico é incapaz de reduzir o teor destas moléculas no caldo. Este comportamento também foi observado quando utilizou-se as variedades IACSP95-5000, SP83-2847 e CTC14. Provavelmente a remoção de CFT está diretamente relacionada a matéria-prima processada, a qual varia não só o teor destes compostos mas também as características de cada um. Duarte-Almeida et al. (2011) estudando os compostos fenólicos de 3 diferentes variedades constatarem que há variações significativas de estas biomoléculas de acordo com a matéria-prima, sendo que neste estudo os autores determinaram teores de ácido cumárico da ordem de 1,41, 0,59 e 1,21mg/L, ácido clorogênico de 1,52, 1,60 e 1,11mg/L e aspegenina da ordem de 0,56, 0,26 e 0,60mg/L, para as variedades SP80-1842, SP813250 e RB85-5486, respectivamente.

Caracterizando-se o efeito dos auxiliares de sedimentação sobre estas biomoléculas, nota-se que somente o FSC e o extrato de sementes de moringa resultaram em menores índices em relação aos demais quando processou-se a variedade CTC7. De modo geral os valores obtidos foram similares aos determinados por Costa et al. (2014a), que quantificaram entre 400 e 600mg/L destas biomoléculas no caldo clarificado quando processou-se as variedades RB867515 e SP83-2847. Deve-se destacar ainda que estes compostos são constituintes desta planta, principalmente nas estruturas que dão sustentação, como as fibras (TAIZ; ZEIGER, 2004). Entretanto, ataques de pragas e doenças podem aumentar significativamente o teor destas biomoléculas na matéria-prima (RAVANELL et al., 2011). Outro fator a ser mencionado é os impactos industriais a fabricação de açúcar resultantes do processamento de cana com elevados índices de CFT. Godshall et al. (1999) constatarem que a presença deste composto resulta no aumento de cor do açúcar, uma vez que estes reagem com o oxigênio do ar e íons de ferro, resultando na formação de compostos coloridos.

Tabela 29 – Valores médios obtidos para Turbidez e Turbidez Removida do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Turbidez	Turbidez Removida
Variedades (V)	NTU	%
SP80-3280	212B	59AB
CTC4	207B	59AB
CTC7	295B	66A
IACSP95-5000	295B	71A
SP83-2847	786A	30B
CTC14	412B	57AB
Teste F	9,30**	3,36*
DMS	320,92	35,25
CV	86,73	61,15
Auxiliares de sedimentação (A)		
Controle	500A	41C
FSC	185C	77A
Extrato de sementes	376B	57B
Extrato de folhas	368B	57B
FOC	411AB	52B
Teste F	24,33**	20,39**
CV	30,97	25,20
DMS	92,27	11,69
Inter. VxA	1,11ns	0,62ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxA – Interação entre variedade e auxiliares de sedimentação.

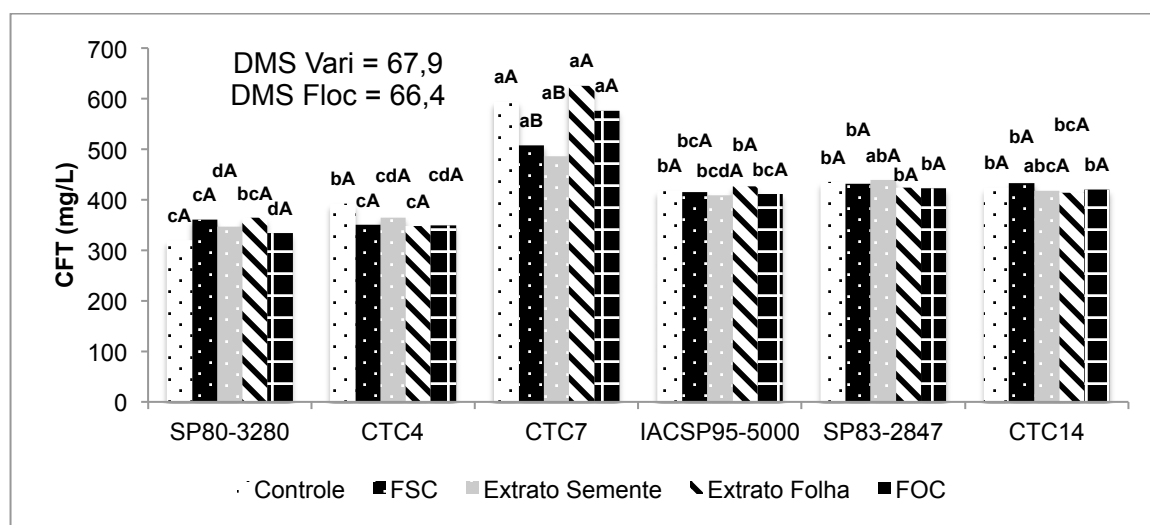


Figura 12 – Interação entre Variedades de cana e Floculantes para o parâmetro Compostos Fenólicos Totais (CFT) do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

A seguir caracterizou-se a cor dos caldos clarificados com diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana. Estes resultados estão expressos na figura 13. Observa-se que o tratamento de caldo por caleagem simples reduziu significativamente a cor do caldo para todas as variedades utilizadas. Deve-se destacar que a coloração do caldo está diretamente relacionada a partículas em suspensão, como a terra, e a elementos iônicos e moleculares, tais como pigmentos, corantes, compostos fenólicos, proteínas, aminoácidos, entre outros, que são eliminados por este tratamento. Ademais, cabe ressaltar que, de modo geral, o processamento da variedade CTC7 resultou nos maiores índices de cor do caldo clarificado em relação as demais. Este fato pode estar associado a maior presença de CFT nesta matéria-prima, uma vez que estes apresentam relação direta com a cor do caldo, como descrito anteriormente. Os valores obtidos são similares aos determinados por Costa et al. (2014a), que verificaram diferenças na cor do caldo clarificado de diferentes variedades, sendo estes dentro da faixa de 8000 a 14000UI.

Comparando-se os flocculantes, observou-se que a não utilização de flocculantes resultou em caldo de maior cor quando processou-se a variedade IACSP95-5000. Ademais, todos os tratamentos apresentaram comportamento similar. Estes resultados diferem aos obtidos por Costa et al. (2014a) que constataram que o extrato de folhas de moringa promove caldo clarificado de cor menor em relação ao tratamento com FSC. Entretanto o insumo utilizado pelos autores foi de procedência diferente ao realizado neste ensaio. Desta maneira, estudos futuros comparando potencial de cada FSC disponível no mercado pode contribuir significativamente para a base de dados do setor açucareiro.

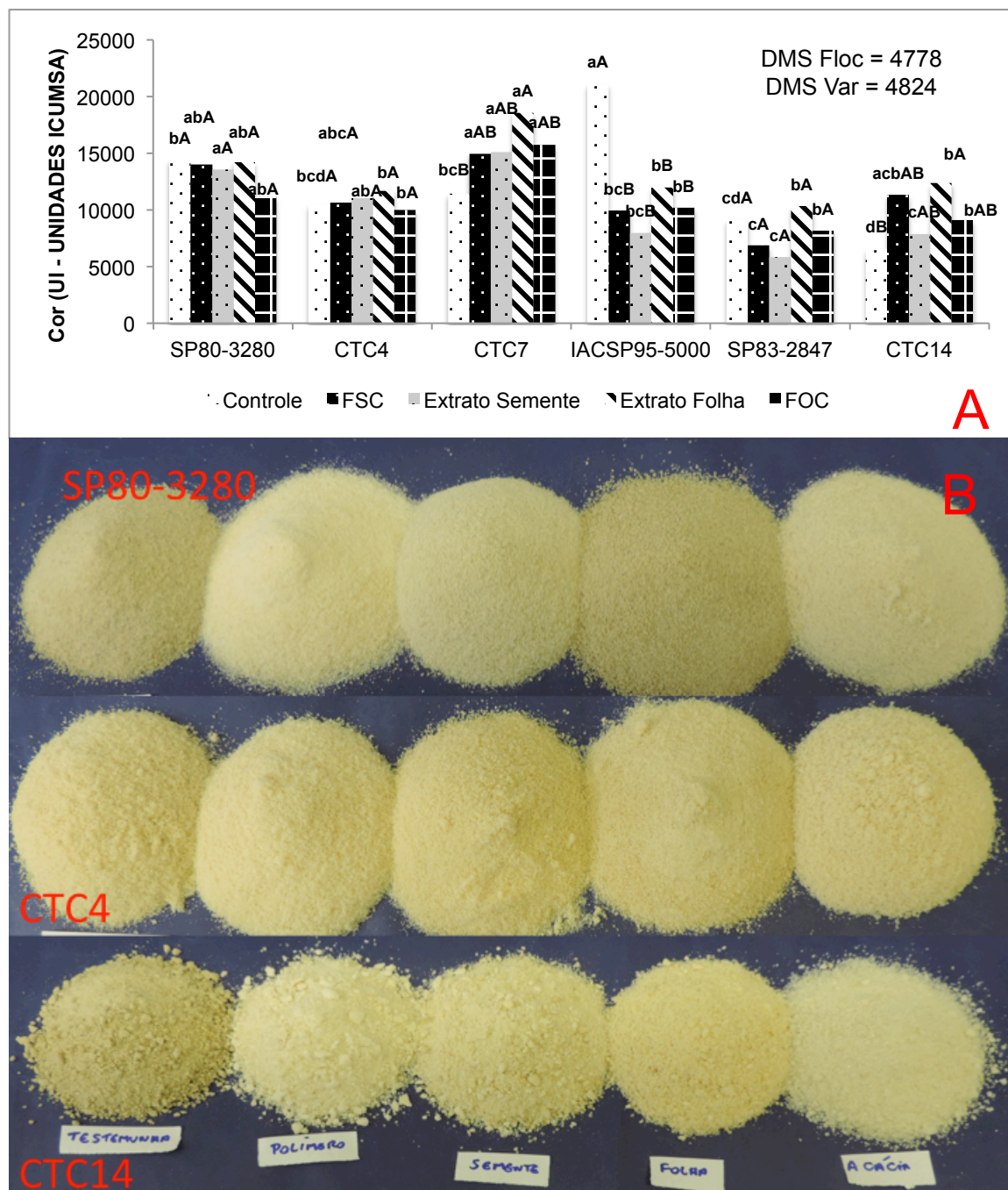


Figura 13 – A- Interação entre Variedades de cana e Auxiliares de Sedimentação para o parâmetro Cor do caldo clarificado. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam auxiliares de sedimentação. B – Açúcares obtidos a partir de 3 variedades de cana e 5 auxiliares de sedimentação. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Na tabela 30 estão apresentados os valores obtidos para Fe, Na, Ca, Mg e K do caldo clarificado com cinco diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 diferentes variedades. Observou-se que o processo de caleagem simples reduziu

significativamente os teores de Fe do caldo. Este resultado é similar ao apresentado por Honig (1969) que afirma que óxidos de ferro são removidos na faixa de 50-90% através da utilização do processo de tratamento de caldo. Avaliando-se o efeito dos floculantes, constatou-se comportamento diferente de acordo com a matéria-prima processada. Deve-se destacar que este elemento é indesejável a tecnologia açucareira, uma vez que reagem com compostos fenólicos presentes no caldo, formando compostos de cor escura, que resultam no escurecimento do cristal de açúcar (SIMIONI et al., 2006).

Considerando-se o Na, verificou-se acréscimo deste elemento no caldo clarificado em relação ao extraído. Delgado e Cesar (1977) destacam que o sódio não é removido durante o processo de clarificação. Desta maneira pode-se relacionar o aumento de Na com a concentração do caldo durante o processo de aquecimento, num fenômeno similar ao determinado para o Brix e Cinzas. Este elemento pode ficar retido no cristal de açúcar na forma de inclusões, aumentando o teor de cinzas e tempo de filtrabilidade, resultando na desvalorização do produto no mercado (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007). Comparando-se o efeito dos floculantes na redução deste elemento, observou-se que a utilização de FOC promoveu as maiores remoções de Na para as variedades CTC7, IACSP95-5000, SP83-2847.

Avaliando-se os íons de cálcio, verificou-se comportamentos distintos de acordo com a matéria-prima processada. Para as variedades SP80-3280, CTC7 e SP83-2847 houve redução das concentrações de Ca através do processo de caleagem simples. Entretanto para as variedades IACSP95-5000 e CTC14, houve acréscimo deste elemento no caldo clarificado em relação ao extraído. Deve-se ressaltar que resíduos de cálcio no caldo clarificado pode ser decorrente de processo de sedimentação ineficiente, permanecendo no caldo fosfatos de cálcio. Este fenômeno pode ser constatado avaliando-se os dados de turbidez e cinzas removidas do caldo clarificado destas variedades, que foram maiores e menores, respectivamente. Assim como o Na, o Ca também pode ficar retido nos cristais (COSTA et al., 2015). Contudo, fosfatos de cálcio são elementos incrustantes de calandrias dos evaporadores e cozedores, aumentando os tempos de parada para

limpeza, assim como os gastos com insumos utilizados neste processo (DOHERTY; SIMPSON; RACKEMANN, 2008).

Tabela 30 – Valores obtidos para Ferro (Fe), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) do caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Fe	Na	Ca	Mg	K
SP80-3280			mg/L		
Controle	1,25	18,25	3,5	2,75	6
FSC	5	33,75	3,75	3	4,75
Extrato de sementes	1,25	9,25	4,5	3,25	5,75
Extrato de folhas	2,75	12,25	6	3,5	6,75
FOC	0	22,25	5	3	7,25
CTC4					
Controle	8	5,25	2,5	1,75	12,75
FSC	18	1,25	3,5	2,25	18,75
Extrato de sementes	28	13	5	2,5	20
Extrato de folhas	6,25	5,5	4,25	2	14,75
FOC	16,25	2	5	2,75	20,75
CTC7					
Controle	6	16,5	6,75	2,75	31
FSC	2,75	8	6,5	3	35
Extrato de sementes	3	23,25	6	3	28,25
Extrato de folhas	6,75	13,25	7,25	4,12	41,5
FOC	10,5	3,75	3,5	2,5	19
IACSP95-5000					
Controle	7,25	8,25	7,5	3,75	33,25
FSC	1,5	17,5	9,75	4	36
Extrato de sementes	3,25	15,25	8,25	4	34,25
Extrato de folhas	7,25	13,25	7,25	3,75	32,25
FOC	5,75	8,25	7,25	4	35,25
SP83-2847					
Controle	14	0,5	5,75	2,5	42,5
FSC	9,25	8,25	4,75	2,75	46,75
Extrato de sementes	7	9,5	3,25	1,5	26,75
Extrato de folhas	4,5	0	6,25	1,5	23,5
FOC	12,75	0	5	2,75	47,75
CTC14					
Controle	8,75	21,25	6,75	4,75	38,5
FSC	1	28	12,25	4,5	36,25
Extrato de sementes	8,75	0,75	7,5	4,75	38,5
Extrato de folhas	12	9,5	6,75	4,75	40
FOC	10	1,75	7,5	4,75	40,25

Analisando-se os teores de Mg, observou-se reduções da ordem de 30% para as variedades SP80-3280, CTC7, IACSP95-5000 e SP83-2847; e acréscimos para a CTC14. Este elemento apresenta comportamento similar ao Ca durante o processo de clarificação, sendo que acréscimos ou reduções são relacionadas ao insumo utilizado para o processo de elevação do pH até 7-8 (HONIG, 1969). Neste

sentido, pode-se mencionar ainda que este elemento também é quantificado na análise de cinzas solúveis (ALBUQUERQUE, 2011), sendo que a pouca remoção de cinzas foi determinada para a variedade CTC14. Costa et al. (2015) determinaram valores médio de 50mg/L de Mg no caldo clarificado, com uma redução de 70% em relação ao caldo extraído.

Em relação ao K, observou-se remoções da ordem de 25 a 45% deste elemento para as variedades SP80-3280, CTC7, IACSP95-5000 e CTC14; e acréscimo para a SP83-2847. Tais resultados contradizem Honig (1969) que afirma que o K não é removido pelo processo de caleagem simples, e ainda pode resultar na formação de espumas no topo do decantador e nas caixas de melaço residual da fabricação do açúcar. Entretanto, Costa et al. (2015) também observaram reduções de até 45% deste elemento em relação ao caldo original.

4.5 Qualidade do Açúcar

Após tratamento do caldo, selecionou-se 3 variedades de cana-de-açúcar (SP80-3280, CTC4 e CTC14), as quais foram processadas, sendo o caldo extraído submetido a clarificação, evaporação, cozimento, cristalização e centrifugação para separação dos cristais de açúcar e do melaço. O açúcar foi secado e caracterizado quanto a Cinzas (Figura 14), Cor (Figura 15), Pol (Figura 16), Turbidez (Tabela 31), CFT (Figura 17), Umidade (Figura 18), pH (Figura 19), além dos compostos inorgânicos (K, Mg, Mn, Zn, Na e Fe) (Tabela 32).

Avaliando-se as o teor de cinzas do açúcar observou-se que os provenientes de processamento da variedade CTC14 apresentaram maior teor destes compostos em sua constituição. Deve-se destacar que este método quantifica principalmente potássio, cálcio (HONIG, 1969), sílica e sesquióxidos inclusos no cristal (CHEN; CHOU, 1993). Em contrapartida, o processamento da variedade SP80-3280 resultou em açúcar de menores valores. Este comportamento é resultante da própria constituição tecnológica da matéria-prima, uma vez que a CTC14 já apresentava 0,50% a mais de cinzas no caldo extraído em relação as outras variedades. Wojtzack, Antczak e Lisik (2013), Bettani et al. (2014) e Wojtzack, Antczak e Lisik (2014) estudando cinzas de amostras de

diferentes açúcares “cru”, determinaram valores entre 0,2 e 0,4%, resultados estes similares aos obtidos para as variedades SP80-3280 e CTC4.

Considerando-se o efeito dos auxiliares de sedimentação sobre as cinzas do açúcar, verificou-se efeito somente para a variedade CTC14, sendo que o FSC, Extrato de Folhas e FOC resultaram em menores valores em relação aos demais parâmetros. Costa et al. (2015) constataram o mesmo comportamento quando utilizou-se FSC e extrato de folhas de moringa como agente clarificante de caldo resultante de processamento da variedade RB867515, sendo que o açúcar resultante destes tratamentos apresentavam menor cinzas. Estes elementos são diretamente prejudiciais a indústrias de refino, uma vez que diminuem o desempenho e rendimento da fábrica, afetando negativamente a qualidade do produto obtido (REIN, 2012).

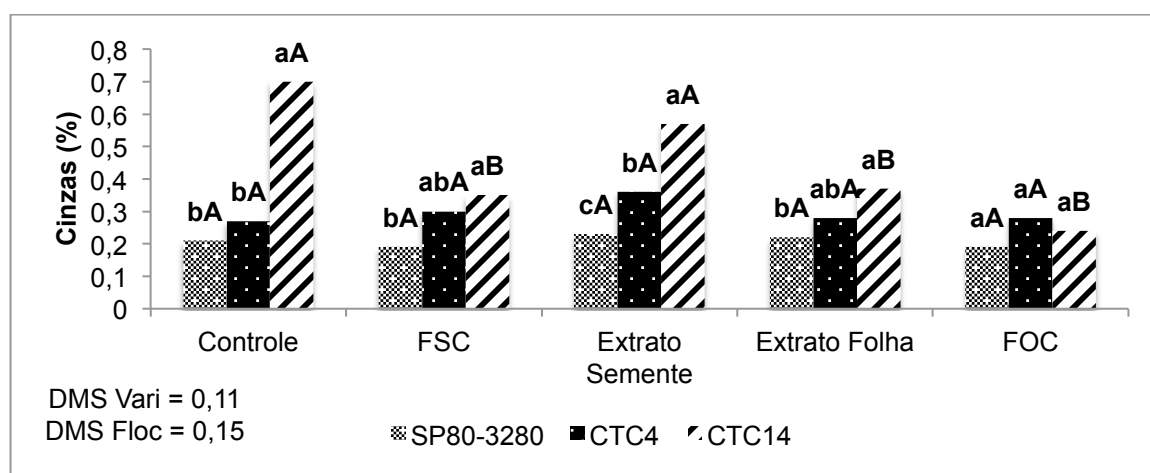


Figura 14 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Cinzas do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

A cor dos açúcares resultantes de processamento da variedade CTC14 foi menor em relação aos demais. Cabe ressaltar que este comportamento já havia sido observado para os caldos extraídos e clarificados. Desta maneira, pode-se inferir que a cor do açúcar está diretamente relacionado com a qualidade da matéria-prima processada. Este fato já havia sido comprovado por Costa et al. (2014a), que determinaram que a utilização da variedade RB92579 como matéria-prima, resulta em maior cor do açúcar em relação ao uso da RB86-7515.

Além das variedades, observou-se que os auxiliares de sedimentação também influenciam significativamente sobre a cor do produto final. Neste ensaio, observou-se que a utilização dos auxiliares (FSC, Extrato de Sementes, Extrato de Folhas e FOC) promoveram menor cor do produto em relação ao tratamento controle. Este comportamento é interessante, pois demonstra, juntamente com os resultados obtidos para o caldo clarificado, que os auxiliares de sedimentação promovem maior remoção de produtos coloridos tais como pigmentos, corantes, etc. Os valores obtidos neste ensaio foram inferiores aos determinados por Wojtzack, Antczak e Lisik (2014), que avaliando amostras de açúcar “cru” da Europa, constataram valores médios de 2300 U.I. Bettani et al. (2014), comparando a qualidade de açúcares demerara comercializados no Brasil, observaram valores entre 343 a 2461 U.I.

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, 1997). Entretanto, a quantidade de compostos fenólicos também pode afetar diretamente os resultados (GODSHAL, 1999; SIMIONI et al., 2006). Deve-se destacar ainda que este parâmetro é fundamental na classificação do açúcar, uma vez que esta irá influenciar na confecção de produtos que exigem menor cor, tais como refrigerantes, bebidas alcoólicas, fármacos, sorvetes, balas refrescantes, entre outros (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

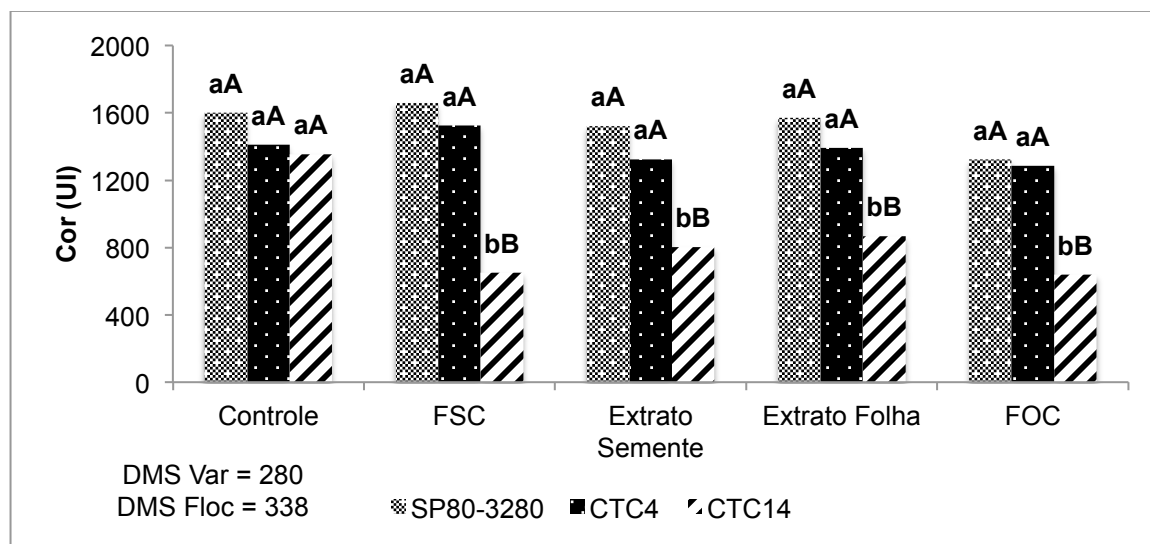


Figura 15 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Cor do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam flocculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Avaliando-se a Pol dos açúcares, observou-se que não houve diferença entre os tratamentos estudados. De modo geral, os valores foram próximos a 97%, índices estes similares aos obtidos por Bettani et al. (2014), Costa et al. (2014a) e Wojtzack, Antczak e Lisik (2014), que determinaram sacarose aparente nesta mesma faixa de concentração. Em contrapartida os resultados foram superiores aos 94% obtidos por Costa et al. (2014b), os quais foram açúcares originados de processamento das variedades SP83-2847 e RB855156. Admite-se que açúcares de Pol inferior a 99,7°Z são destinados para processamento em indústrias, tais como refinarias, alimentícias, farmacêuticas, entre outras. Neste caso o produto é classificado como VHP ou Demerara (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Caracterizando-se a turbidez dos açúcares VHP, observou-se que o processamento da variedade SP80-3280 promoveu maiores valores em relação as demais. Neste sentido, pode-se verificar ainda que a utilização de FSC, Extrato de Sementes de Moringa e FOC também promoveram remoção significativas de turbidez em relação ao tratamento controle.

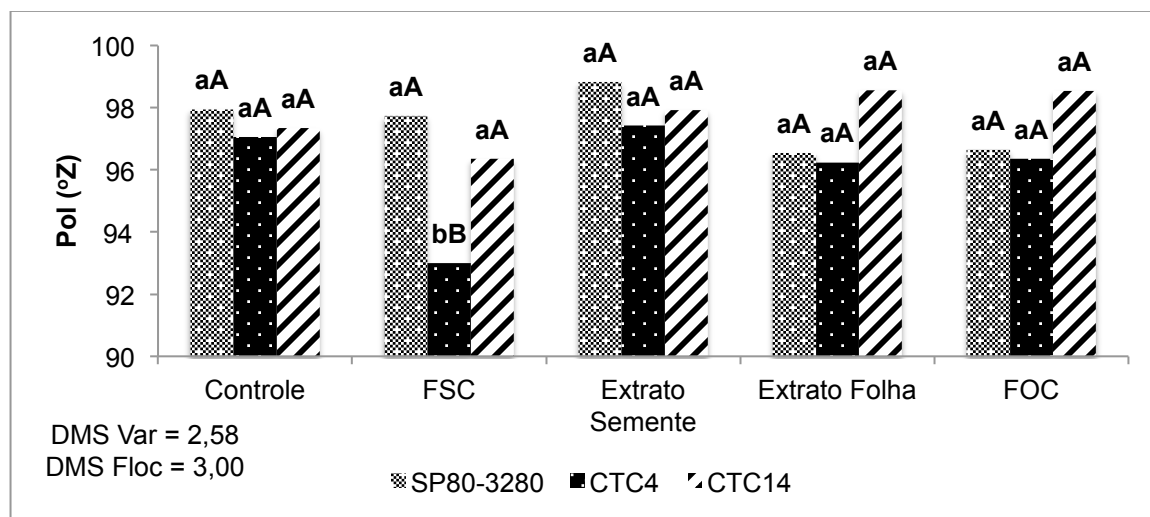


Figura 16 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Pol do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Na figura 15 estão representados os resultados obtidos para umidade dos açúcares. Observou-se que a utilização de auxiliares de sedimentação no tratamento de caldo resultou em açúcar com menor umidade inclusa nos cristais, quando processou-se as variedades CTC4 e CTC14. Deve-se destacar que a umidade dos cristais está relacionada a película de mel envolto do cristal não separada na centrifugação, assim como centrifugação deficiente (ALBUQUERQUE, 2011). Estes resultados foram menores que os determinados por Costa et al. (2014b), que avaliando a umidade de açúcares VHP produzidos a partir de duas variedades de cana-de-açúcar, obteve valores de até 0,5%. Comparando-se os extratos, verificou-se que o use de Extrato de Folhas e FOC promoveu menores umidades em relação aos demais. Costa et al. (2014a), estudando a ação de Extrato de Folhas de Moringa no tratamento do caldo sobre a qualidade do açúcar, também constatou que o extrato resulta em açúcar de menor umidade.

Tabela 31 – Valores médios obtidos para Turbidez do açúcar VHP obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Turbidez
Variedades (V)	NTU
SP80-3280	535A
CTC4	364B
CTC14	319B
Teste F	11,58**
DMS	132,02
CV	36,78
Auxiliares de sedimentação (A)	
Controle	661A
FSC	232B
Extrato de sementes	396B
Extrato de folhas	451AB
FOC	290B
Teste F	9,48**
CV	46,05
DMS	219,51
Inter. VxA	1,72ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxA – Interação entre variedade e auxiliares de sedimentação

Outro ponto a se destacar é que a presença de água nos cristais pode resultar, além do empedramento do açúcar, no desenvolvimento de micro-organismos patogênicos, tais como salmonelas e coliformes (totais e fecais). Neste sentido, não foi observado a presença destas bactérias no açúcar (Figura 1A), diferentemente de Wojtczak et al. (2005), que detectaram leveduras e bactérias em açúcares comerciais da Europa. Entretanto, deve-se destacar que estes micro-organismos chegam a indústria juntamente com a matéria-prima, ou ainda podem ser resultantes de operações finais de acabamento do açúcar de higiene não controlada, como utilização de água de lavagem da centrifuga de baixa qualidade, manipulação humana, pó de açúcar, “bags” sujos, etc. (DELGADO; CESAR, 1977).

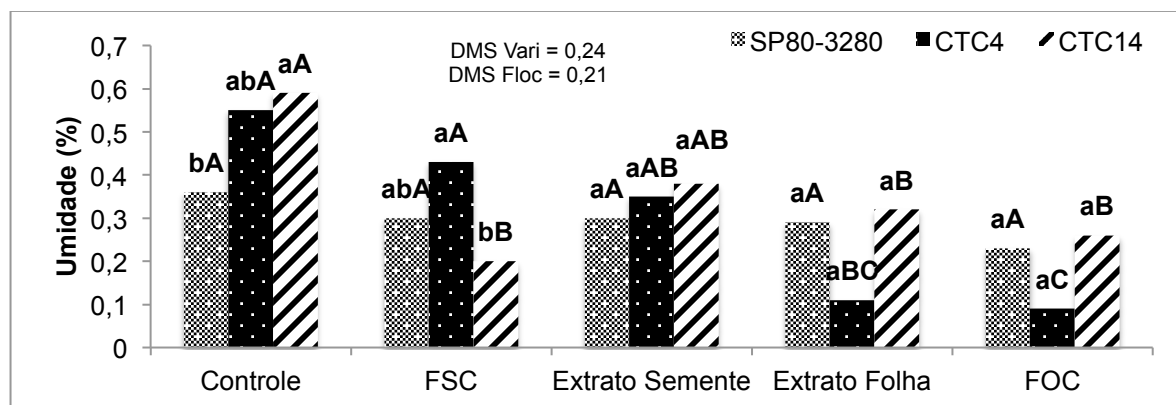


Figura 17 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Umidade do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparar variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Comparando-se os CFT dos açúcares produzidos a partir de diferentes variedades de cana, utilizando-se 5 diferentes auxiliares de sedimentação no tratamento do caldo, verificou-se que o uso de FSC e Extrato de Sementes de moringa resultou em menores teores em relação aos demais (Figura 16). Estes resultados são diferentes aos observados por Costa et al. (2014a), que não constataram diferenças nos teores de CFT de açúcares produzidos a partir de caldo clarificado com floculantes. Entretanto, os valores obtidos neste estudo, são similares aos determinados por estes autores, que foram da ordem de 260mg/kg.

Cabe ressaltar ainda que a presença de CFT pode promover a formação de cor no cristal de açúcar, promovendo a deterioração do produto conforme o tempo de armazenamento (SIMIONI et al., 2006). Neste sentido, o uso de FSC e Extrato de Sementes de moringa como auxiliares de sedimentação do caldo de cana pode resultar em um produto com maior tempo de armazenamento.

Na figura 17, estão apresentados os valores obtidos para o pH dos açúcares produzidos. A utilização da variedade CTC14 como matéria-prima, e do auxiliar FOC, resultou em açúcar de maior pH. Deve-se considerar que o processo de produção de açúcar é todo realizado com o caldo clarificado e xarope em pH 7,0-8,0, uma vez que impossibilita a degradação ácida ou alcalina da sacarose, e procede em cristais com faixa de pH próximo a neutralidade (FARIA, 2012). Tais valores são similares aos determinados por Bettani et al. (2014) e Costa et al.

(2014), que observaram pH variando de 6,0 a 6,7 em diferentes amostras de açúcares.

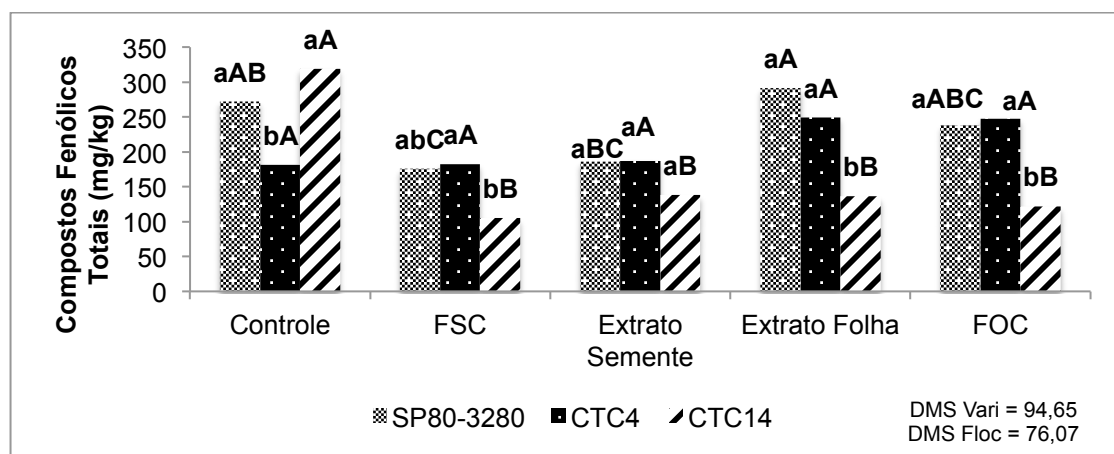


Figura 18 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Compostos Fenólicos Totais do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

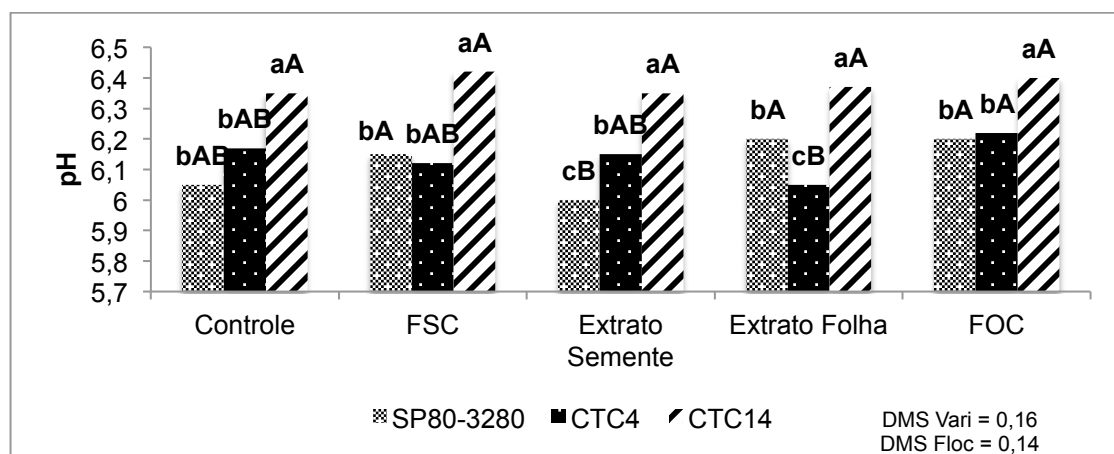


Figura 19 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro pH do açúcar VHP. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Na tabela 32 estão apresentados os valores obtidos para Fe, Na, Ca, Mg e K dos açúcares produzidos. Observou-se que o processamento da variedade CTC14 resultou nos maiores teores de compostos inorgânicos nos cristais em relação aos demais, com destaque para o K, Fe e Na. Os valores obtidos neste ensaio foram menores que os determinados por Bettani et al. (2014), que avaliando

amostras comerciais de açúcares, detectaram 7-10mg/kg Fe, 1-96mg/kg Na, 1-95mg/kg Ca, 1-51mg/kg K. Comparando-se os resultados dos autores com os obtidos neste estudo, pode-se inferir que apenas a utilização de Extrato de Sementes e FOC, possibilitaram a obtenção de produtos similares aos disponíveis para consumo e comercialização.

Deve-se destacar ainda que a baixa concentração de K e Na nos cristais é importante para refinarias que diluem e recristalizam o açúcar a fim de padronizar o tamanho e a cor, pois dificultam estas operações, reduzindo a eficiência industrial (REIN, 2012). Neste contexto, pode-se destacar ainda que a presença de cálcio pode promover a formação de flocos, também denominada de “névoa”, em bebidas alcoólicas e não alcoólicas, prejudicando o aspecto do produto (MURTAGH; TEBBLE, 1997; OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA-JUNIOR, 2007), e íons de Fe podem reagir com os compostos fenólicos, aumentando a cor do produto durante o armazenamento (SIMIONI et al., 2006).

Tabela 32 – Valores obtidos para Ferro (Fe), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) do açúcar com 5 auxiliares de sedimentação, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Fe	Na	Ca	Mg	K
	mg/Kg				
SP80-3280					
Controle	18	5	2	0	1
FSC	46	98	7	4	7
Extrato de sementes	12	39	8	4	4
Extrato de folhas	55	33	7	5	8
FOC	13	67	11	5	5
CTC4					
Controle	9	23	16	3	20
FSC	4	38	7	4	22
Extrato de sementes	5	24	11	5	28
Extrato de folhas	6	47	5	3	11
FOC	43	70	5	3	9
CTC14					
Controle	84	33	18	8	93
FSC	1	26	3	2	29
Extrato de sementes	44	45	8	3	49
Extrato de folhas	57	31	7	4	38
FOC	32	0	2	1	18

4.5.2 Caracterização do Melaço

Na tabela 33 estão apresentados os valores obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, Acidez e Turbidez do melaço obtido de caldos clarificados com 5 auxiliares de sedimentação, de 3 diferentes variedades de cana.

Considerando-se o Brix, o tratamento em que se utilizou FOC promoveu melaço com maiores valores em relação aos demais. Estes valores são similares aos obtidos por Costa (2013), que caracterizando diferentes melaços, determinou valores entre 76-77°Brix.

Embora, todos os melaços apresentaram concentrações diferentes de sólidos solúveis, todos estes apresentaram os mesmos teores de açúcares, Pol de 56-60% e Pureza de 78%. Tais valores são superiores aos quantificados por Costa (2013), que obteve Pol de 50-52% e Pureza de 66%.

Avaliando-se o pH do melaço, observou-se valores de 5,4-5,5 para os obtidos a partir de clarificação com diferentes auxiliares de sedimentação. Deve-se destacar que não houve diferenças significativas entre estes tratamentos. Contudo, o melaço resultante de processamento da variedades SP80-3280 apresentou menores valores em relação aos obtidos pelas variedades CTC4 e CTC14.

Considerando-se a Turbidez destes materiais, verificou-se comportamento similar ao determinado para o açúcar, sendo que a variedade CTC14 resultou em maiores valores em relação as demais. Neste sentido ainda, que os tratamentos em que se utilizou FSC, extrato de sementes e FOC resultaram em menores valores em relação aos demais. Esta análise é um indicativo que estes tratamentos apresentavam menores compostos dispersores de luz, como os em suspensão.

Analisando-se a quantidade de Cinzas Solúveis presentes nos melaços obtidos a partir de diferentes auxiliares de sedimentação (Figura 20), verificou-se que assim como para o caldo clarificado e açúcar, a variedade CTC14 resultou em maiores teores destes compostos, indicando efeito acumulativo ao longo do processamento. Entretanto, quando se utilizou FSC como auxiliar de sedimentação houve redução significativa destes compostos no melaço.

Tabela 33 – Resultados obtidos para Brix, Pol, Pureza, pH, acidez e cinzas do Melaço resultantes de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Brix	Pol	Pureza	pH	Cinzas	Turbidez
Variedades (V)		%			%	NTU
SP80-3280	72,1C	57,9	80,3	5,2B	2,2C	784,0A
CTC4	74,9B	58,6	78,2	5,5A	2,8B	412,6B
CTC14	77,0A	59,6	77,5	5,6A	4,6A	428,2B
Teste F	27,10**	1,01ns	1,86ns	34,29**	52,22**	26,22**
DMS	2,99	4,07	5,91	0,19	0,97	264,55
CV	3,17	5,49	5,96	2,83	23,89	38,72
Auxiliares de sedimentação (A)						
Controle	74,6AB	58,7	78,7	5,5	3,4A	817,9A
FSC	74,1AB	58,5	79,1	5,4	2,3B	399,8BC
Sementes	75,6AB	60,0	79,3	5,4	3,9A	524,4BC
Folhas	72,7B	56,7	78,0	5,5	3,2AB	617,5AB
FOC	76,2A	59,6	78,1	5,5	3,2AB	348,3C
Teste F	4,11*	1,87ns	0,17ns	1,41ns	6,34**	9,54**
DMS	1,64	3,02	3,73	0,10	0,60	142,74
CV	2,83	6,62	6,10	2,41	24,12	33,87
Inter VxA	0,73ns	2,51ns	2,29ns	1,15ns	2,54*	3,27**

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter VxA – Interação entre variedades e auxiliares de sedimentação.

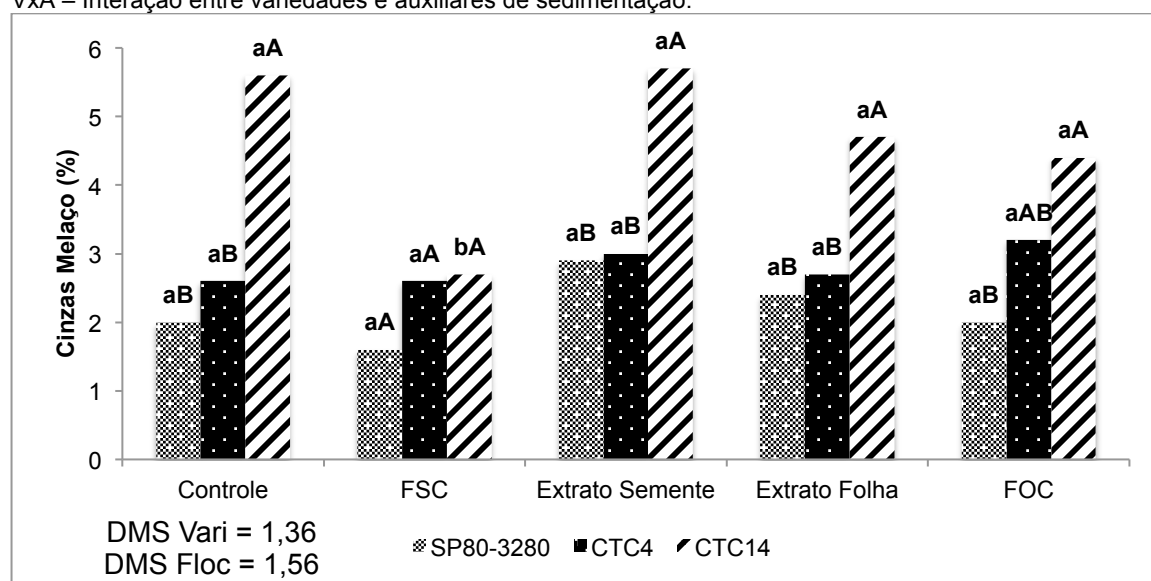


Figura 20 – Interação entre variedades de cana e auxiliares de sedimentação para o parâmetro Cinzas do melaço. Letras minúsculas para comparam variedades e letras maiúsculas comparam floculantes. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

4.6 Produção de etanol

4.6.1 Caracterização do mosto

Na tabela 34 estão apresentados os valores obtidos para Açúcares Redutores Totais (ART) e Acidez Total para dos mostos preparados a partir de caldo clarificado e melaço.

Analisando-se os valores obtidos para ART, verificou-se interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades (Figura 21). De modo geral, observou-se que embora todos os Brix tenham sido padronizados a 16°, os mostos obtidos de melaço apresentaram maiores teores de ART em relação aos preparados a partir de caldo clarificado. Deve-se destacar que este melaço foi produzido em escala laboratorial, a partir de cozimento de uma massa. Em unidades industriais, este comportamento pode ser diferente, observando-se ART menores para mostos obtidos de melaços e maiores para de caldo clarificado, uma vez que os melaços podem ser submetidos a 3 sucessivos cozimentos, resultando em maior recuperação de sacarose presente no mesmo e, conseqüentemente, reduzindo a Pureza (ALBUQUERQUE, 2011).

Analisando-se a Acidez Total dos mostos, observou-se que não houve influencia dos auxiliares de sedimentação sobre este parâmetro. Entretanto, os mostos preparados a partir de melaço promoveram maiores teores de ácidos em relação ao caldo clarificado. Este fato pode ser decorrente dos sucessivos processos que o caldo clarificado foi submetido até virar melaço, onde pode ter ocorrido formação de ácidos através da degradação térmica/alcalina da sacarose (HONIG, 1969). Deve-se destacar ainda que todo o processo de produção de melaço é decorrente da evaporação de água, resultando na concentração destas moléculas.

Neste contexto, deve-se destacar ainda que o mosto preparado a partir da variedade SP80-3280 resultou em menores quantidades de ácidos em relação as demais. Este resultado condiz com os obtidos para os caldos clarificados e melaços originais, onde também foi verificado menores valores de pH e Acidez para os tratamentos em que se utilizou esta variedade.

Tabela 34 – Resultados para ART e Acidez Total do Mosto obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	ART	Acidez Total
Auxiliar de Sedimentação (A)	%	g/L H ₂ SO ₄
Controle	13,1	1,06
FSC	12,7	1,05
Sementes	12,7	1,06
Folhas	13,3	1,04
FOC	12,7	1,00
Teste F	2,74ns	0,25ns
DMS	0,72	0,22
CV	6,26	23,66
Mosto (M)		
Caldo Clarificado	12,5B	0,85B
Melaço	13,3A	1,23A
Teste F	11,18**	71,03**
DMS	0,45	0,09
CV	9,1	23,28
Variedade (V)		
SP80-3280	13,7A	0,74B
CTC4	11,9C	1,15A
CTC14	13,0B	1,24A
Teste F	34,91**	63,46**
DMS	0,52	0,11
CV	7,48	20,33
Inter AxM	0,79ns	0,45ns
Inter AxV	3,29**	0,60ns
Inter AxV	6,57**	0,90ns
Inter AxMxV	3,35**	0,57ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação.

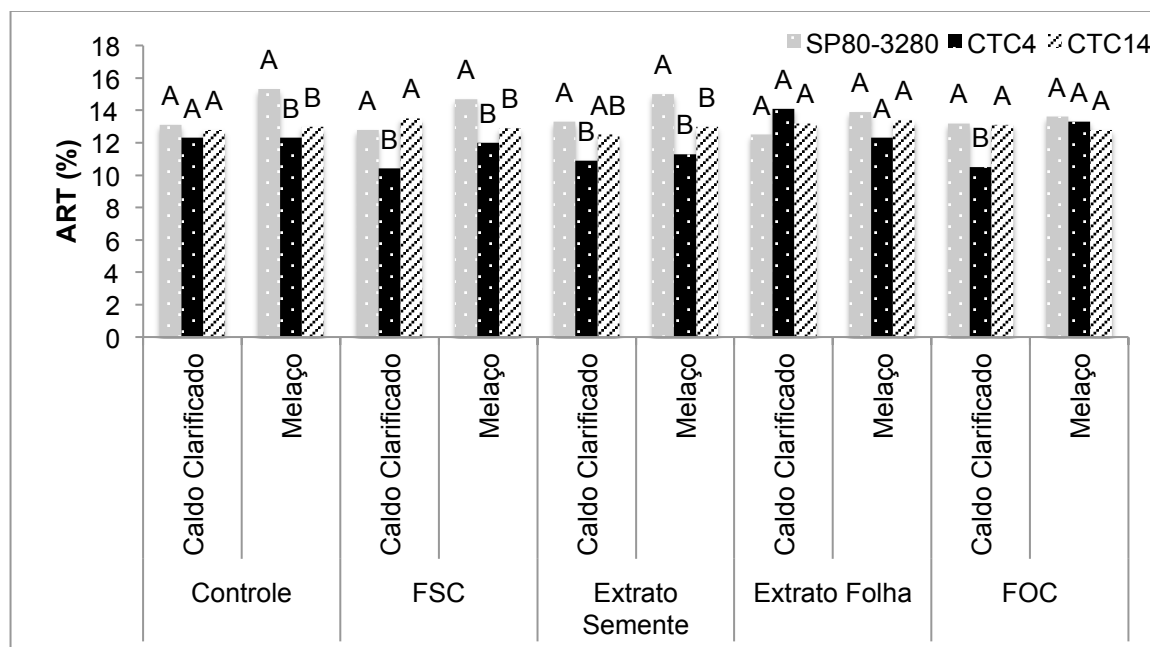


Figura 21 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para os Açúcares Redutores Totais do Mosto obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

4.6.2 Processo Fermentativo

Na tabela 35 estão apresentados os valores obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos obtido no início da fermentação de mostos preparados a partir de caldo clarificado e melaço, de três diferentes variedades, produzidos a partir de 5 diferentes auxiliares de sedimentação.

Avaliando-se a quantidade de células vivas, verificou-se que todos os tratamentos avaliados (auxiliares de sedimentação, mostos e variedades) apresentaram valores similares que variaram de 93,3 a 97,1%. Deve-se destacar que estes resultados são desejáveis no processo industrial, uma vez que para adequado processo de fermentação, a levedura deve apresentar viabilidade superior a 85% (BASSO; BASSO; ROCHA, 2011).

Analisando-se o índice de Brotamentos da levedura, observou-se interação tripla entre os três tratamentos avaliados (Figura 22). De modo geral, o mosto de caldo clarificado resultou em maiores valores em relação ao de melaço. Este fato pode ser decorrente da maior presença de ácidos nesta segunda matéria-prima, os quais são inibidores da levedura durante o processo fermentativo (CAMOLEZ;

MUTTON, 2005). Considerando-se que para uma fermentação com elevados rendimentos a levedura deve apresentar índices de brotamento entre 5-15% (AMORIM et al., 1996), somente o processamento de caldo clarificado seria interessante, uma vez que os valores médios obtidos para o mosto de caldo clarificado foram de 8%, enquanto que para o de melaço foram de 1,8%. Pode-se observar também que os maiores índices foram obtidos quando fermentou-se caldos provenientes da variedade CTC4 clarificados com FSC e Extrato de Sementes de Moringa.

Assim como determinado para o índice de brotamentos do início do processo fermentativo, houve interação tripla para o parâmetro viabilidade de brotos (Figura 23). Observou-se que os tratamentos FSC e Extrato de Sementes resultaram em maiores valores em relação aos demais. A utilização de mostos de melaço, preparados a partir de Extrato de Folhas, FOC e Controle, resultaram na morte total dos brotos.

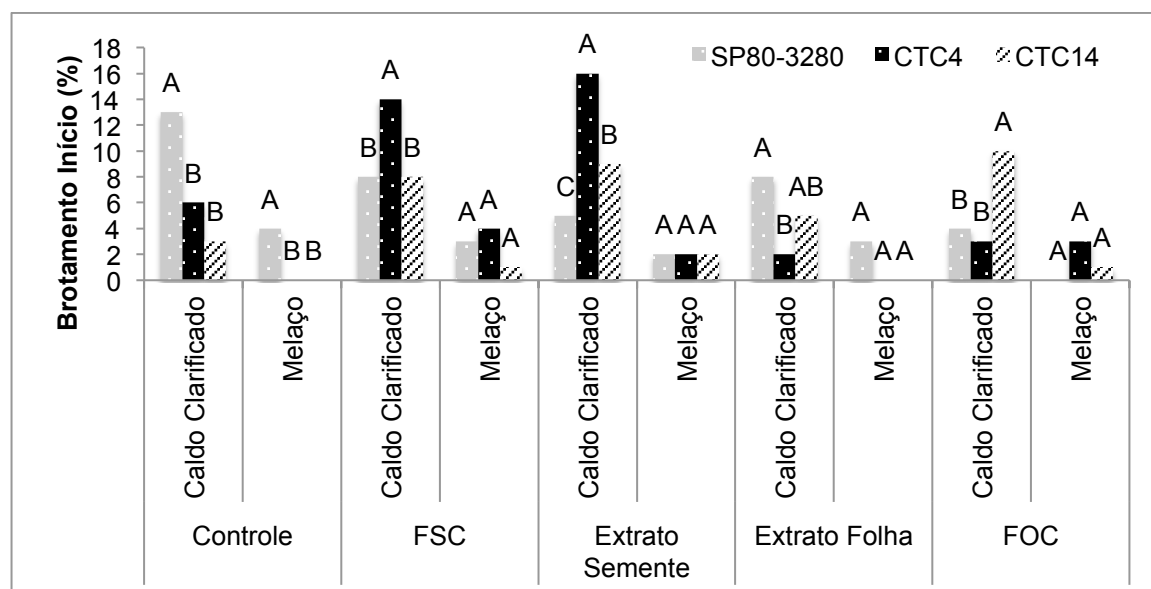


Figura 22 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para o Brotamento Inicial da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Tabela 35 – Resultados obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos no início do processo fermentativo de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Início	Viabilidade Celular	Brotamento	Viabilidade de Brotos
	%		
Auxiliares de Sedimentação (A)	1,75ns	17,29 **	15,43 **
Controle	97,1	4,4B	51,5B
FSC	94,3	6,6A	94,0A
Extrato de sementes	96,4	6,5A	93,7A
Extrato de folhas	93,5	3,3B	64,4B
FOC	93,3	3,9B	70,1B
DMS	5,7	1,5	20,8
CV	6,7	35,38	31,19
Mosto (M)	0,07ns	371,36 **	27,73**
Caldo Clarificado	95,1	8,0A	87,9A
Melaço	94,7	1,8B	61,6B
DMS	2,5	0,6	10,6
CV	7,02	35,19	36,52
Variedade (V)	2,68ns	2,55ns	4,30*
SP80-3280	94,8	5,4	82,1A
CTC4	96,4	5,2	65,0A
CTC14	93,5	4,2	77,2AB
DMS	3,0	1,3	14,4
CV	5,9	50,2	36,0
Inter AxM	0,15ns	6,37**	8,11**
Inter AxV	1,39ns	10,94**	4,72**
Inter AxV	4,24ns	0,94ns	0,75ns
Inter AxMxV	1,40ns	5,89**	3,89**

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \geq p < .05$). DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação.

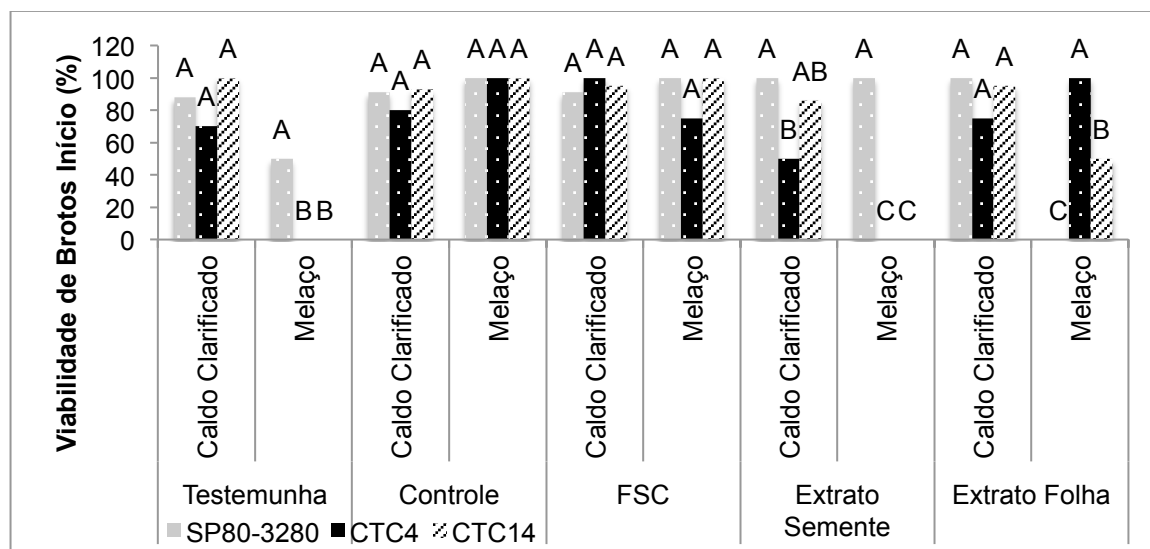


Figura 23 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para a Viabilidade de Brotos do Início da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Na tabela 36 estão apresentados os valores obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos obtido no final da fermentação de mostos preparados a partir de caldo clarificado e melaço, de três diferentes variedades, produzidos a partir de 5 diferentes auxiliares de sedimentação.

Avaliando-se a viabilidade celular, observou-se interação entre os tratamentos estudados (Figura 24). De modo geral, os auxiliares de sedimentação não refletiram sobre a viabilidade celular final, pois todos os valores foram superiores a 85%. Estes resultados também foram determinados por Macri et al. (2014), que estudando a fermentação de mostos preparados a partir de caldo clarificado com extrato de folhas e sementes de moringa, verificou viabilidade celular final entre 84-88%. Pode-se observar ainda que a variedade CTC14 promoveu maiores quantidades de células vivas ao final do processo fermentativo, independentemente do mosto utilizado.

Considerando-se o índice de brotamentos da levedura ao final do processo fermentativo, houve aumento deste parâmetro em relação ao início do processo. Este fato é decorrente do decréscimo da quantidade de açúcares presentes no substrato a medida que a levedura o consome para realização de seus processos metabólicos. Quando esta concentração atinge valores inferiores a 6%, este

microrganismo começa a metabolizar açúcares através de sua via respiratória, a qual resulta na elevada produção de ATP e novas células de levedura (VENTURINI FILHO et al., 2013).

De modo geral, somente os mostos preparados a partir de caldos clarificados apresentaram índice de brotamentos inferiores a 10%, sendo que o restante promoveram média de 13% (Figura 25). Deve-se destacar que, embora o melaço tenha promovido decréscimo deste parâmetro no início do processo, provavelmente a levedura se adaptou ao substrato, elevando consideravelmente seus valores de brotamento ao final do processo. Estes valores foram inferiores aos obtidos por Macri et al. (2014), que determinou índice de brotamentos final da ordem de 20-30%. Entretanto, elevados valores deste parâmetro são indesejáveis ao processo, pois a consequência de elevados índices é a menor quantidade de etanol produzido, uma vez que a matéria-prima para produção dos dois elementos é o açúcar do substrato. Deve-se destacar ainda que os flocculantes e as variedades não refletiram negativamente sobre este parâmetro.

Neste contexto, pode-se inferir que os auxiliares de sedimentação, mostos e variedades não afetam a levedura durante o processo fermentativo, pois embora tenham ocorrido diferenças estatísticas em algumas situações, os valores obtidos são superiores aos mínimos exigidos para o desenvolvimento de fermentações com elevados rendimentos.

Tabela 36 – Resultados obtidos para Viabilidade Celular, Brotamento e Viabilidade de Brotos no final do processo fermentativo de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Final	Viabilidade Celular	Brotamento	Viabilidade de Brotos
	%		
Auxiliares de Sedimentação (A)	36,05ns	3,50ns	1,17ns
Controle	97,4	14,8	97,7
FSC	95,3	13,4	96,2
Extrato de sementes	95,5	11,0	94,7
Extrato de folhas	94,8	11,4	96,3
FOC	96,6	13,9	98,9
DMS	4,40	3,85	6,40
CV	5,15	33,33	7,41
Mosto (M)	0,75ns	2,52ns	0,02ns
Caldo Clarificado	96,3	12,4	96,6
Melaço	95,6	13,4	96,9
DMS	1,66	1,42	3,04
CV	4,46	28,29	8,10
Variedade (V)	6,4 **	3,4*	1,4ns
SP80-3280	95,2B	12,2A	95,6
CTC4	95,0B	14,2A	96,3
CTC14	97,6A	12,2A	98,3
DMS	1,99	2,11	3,99
CV	3,87	30,34	7,67
Inter AxM	1,66ns	1,27ns	0,88ns
Inter AxV	1,40ns	6,25**	1,85ns
Inter AxV	2,99ns	0,69ns	0,20ns
Inter AxMxV	3,45**	2,14*	0,78ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação.

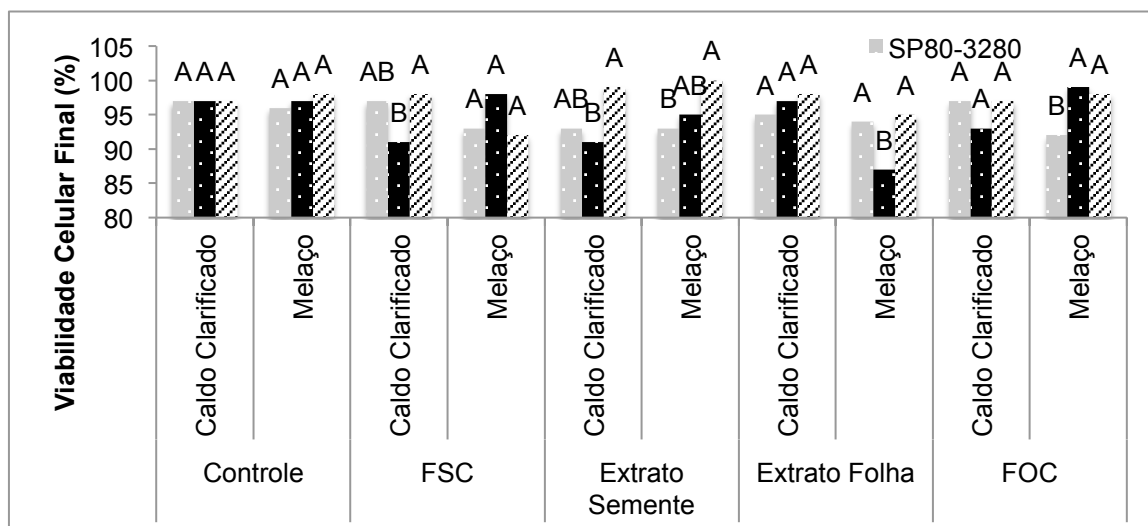


Figura 24 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para a Viabilidade Celular Final da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

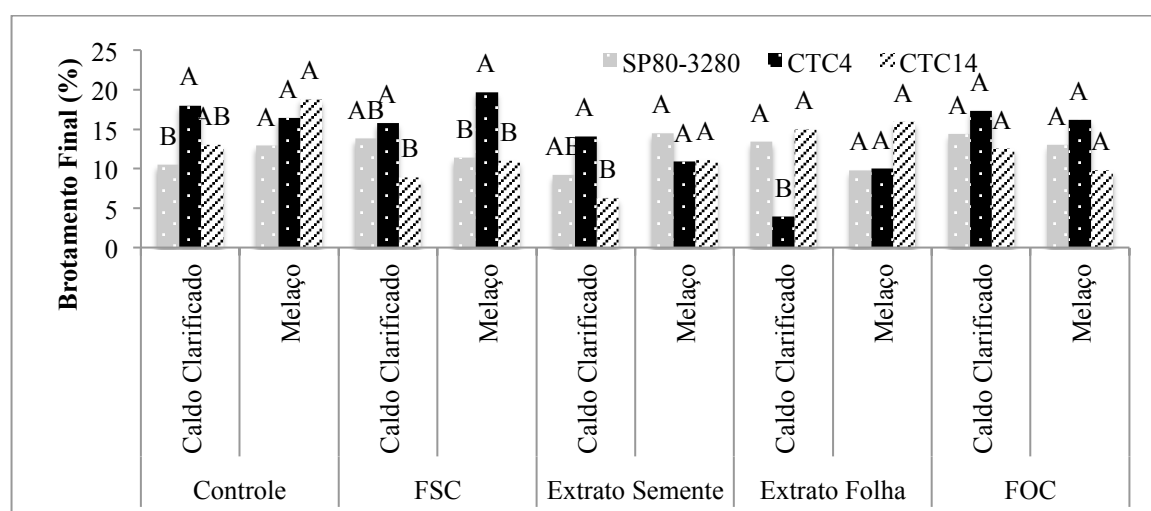


Figura 25 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para o Brotamento Final da fermentação de mostos obtido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

4.6.3 Caracterização do vinho

Na tabela 37 estão apresentados os valores obtidos para Brix, pH, Acidez Total, ARRT e Glicerol do vinho resultante do processo fermentativo.

Avaliando-se o Brix do vinho, observou-se que todos os floculantes e mostos das variedades CTC4 e CTC14 promoveram valores inferiores a 1%. Somente a

fermentação de mostos da variedade SP80-3280 resultou em maiores quantidade de sólidos solúveis. Comportamento similar foi determinado para o ARRT, onde houve maiores sobras de açúcares para a variedade SP80-3280. Entretanto estes valores foram superiores aos determinados por Macri et al. (2014), que quantificaram vinhos com ARRT de 0,1 a 0,2%. Deve-se destacar ainda que a levedura consumiu mais açúcares dos mostos preparados a partir de melaço, uma vez que os vinhos apresentaram 0,5% a menos de açúcares em relação aos preparados com caldo clarificado.

Analisando-se o pH dos vinhos, observou-se que os auxiliares de sedimentação não refletiram sobre este parâmetro. Contudo a fermentação de mostos de caldo clarificado resultou em vinhos de menor pH em relação aos de melaço. Considerando-se as variedades, o processamento da SP80-3280 resultou em menor pH do vinho.

Quantificando-se o teor de ácidos presentes no vinho, observou-se que somente a variável variedades apresentou diferenças significativas. A fermentação da variedade CTC4 resultou em 0,3 g/L a mais de ácidos do que as demais variedades. De modo geral os valores foram próximos a 3g/L. Tais resultados são superiores aos determinados por Camolez e Mutton (2005), que avaliando a Acidez Total de 12 ciclos fermentativos em uma unidade industrial, verificaram teores máximos de 2,2 g/L.

Avaliando-se o teor de Glicerol, observou-se somente diferenças entre mostos e variedades. Considerando-se os mostos, o vinho resultante de fermentação de melaço apresentou menor quantidade de Glicerol em relação ao de caldo clarificado. Neste sentido, pode-se observar também que a fermentação de mostos originados da variedade SP80-3280 resultou em menor produção de glicerol em relação aos demais. Estes valores foram inferiores aos determinados por Macri et al. (2014), que determinaram valores de 2% de glicerol para vinhos originados de fermentação de mostos de caldos clarificado com diferentes auxiliares de sedimentação.

Tabela 37 – Resultados obtidos para Brix, pH, Acidez Total, ARRT e Glicerol do vinho resultante do processo fermentativo utilizando-se mostos preparados a partir de melaços e caldos clarificados com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, a partir de 3 variedades.

	Brix	ARRT (%)	pH	Acidez Total (g/L H₂SO₄)	Glicerol (%)
Auxiliares de sedimentação (A)	0,73ns	2,46ns	2,42ns	1,24ns	1,13ns
Controle	0,9	0,5	3,6	2,9	0,6
FSC	0,9	0,5	3,5	3,1	0,6
Sementes	0,8	0,5	3,5	3,0	0,6
Folhas	1,0	0,6	3,5	3,2	0,6
FOC	0,8	0,6	3,5	2,9	0,6
DMS	0,38	0,24	0,10	0,53	0,09
CV	47,05	45,56	3,14	19,40	15,42
Mosto (M)	1,67ns	146,20**	127,44**	0,87ns	324,54**
Caldo Clarificado	0,9	0,8A	3,4B	3,1	0,76A
Melaço	0,8	0,3B	3,6A	3,0	0,54B
DMS	0,20	0,10	0,03	0,15	0,02
CV	57,04	45,94	2,56	13,14	10,48
Variedade (V)	7,42**	4,27*	140,46**	6,54**	12,47 **
SP80-3280	1,1A	0,7A	3,3B	2,9B	0,61B
CTC4	0,7B	0,4B	3,6A	3,2A	0,69A
CTC14	0,8AB	0,5AB	3,7A	2,9B	0,66A
DMS	0,22	0,18	0,06	0,22	0,04A
CV	44,83	58,02	3,16	13,70	11,37
Inter AxM	0,39ns	1,33ns	0,30ns	1,84ns	1,55ns
Inter AxV	0,29ns	0,62ns	0,98ns	0,80ns	3,03**
Inter AxV	0,37ns	0,30ns	1,73ns	0,58ns	16,86**
Inter AxMxV	0,45ns	0,63ns	1,93ns	1,35ns	1,32ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação.

Na figura 26 estão apresentados os valores obtidos para o teor alcoólico. De modo geral determinou-se valores entre 5 e 8% para todos os tratamentos estudados. Tais resultados são inferiores aos determinados por Macri et al. (2014), que determinaram valores de 8,5 a 9,0%.

Considerando-se os flocculantes, verificou-se que o tratamento acácia negra resultou em menor teor alcoólico quando fermentou-se o caldo clarificado. Caracterizando-se o teor alcoólico dos diferentes mostos, observou-se valores ligeiramente superiores para o mosto de melaço. Neste sentido, deve-se destacar

ainda que os maiores teores alcoólicos foram obtidos a partir do processamento da variedade SP80-3280.

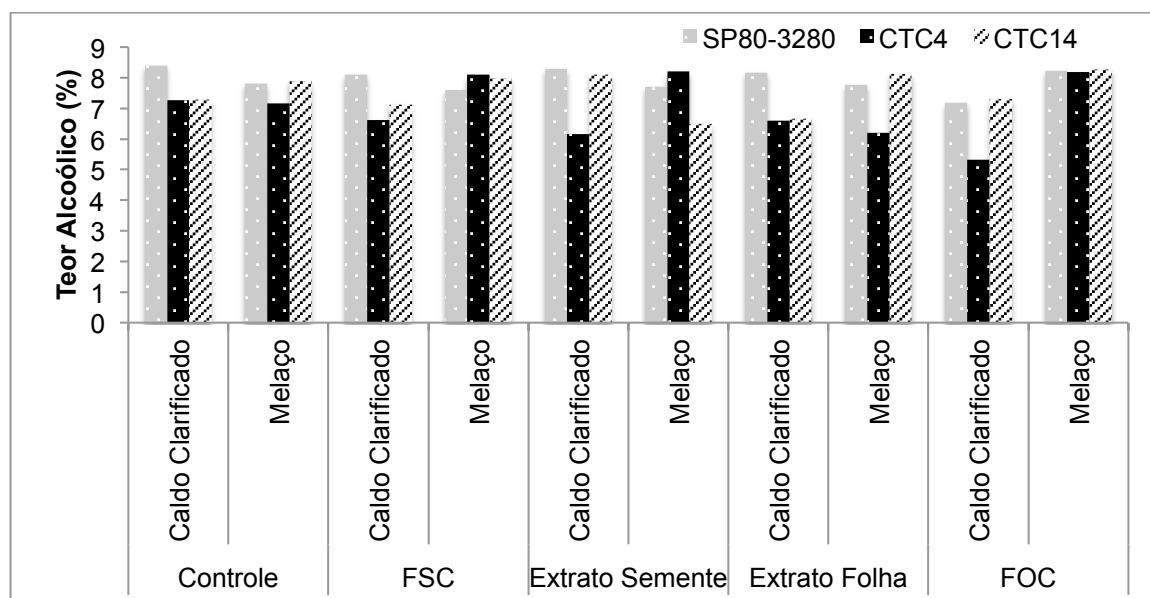


Figura 26 – Interação entre auxiliares de sedimentação, mostos e variedades para o Teor Alcoólico do vinho obtido a partir de fermentação de mostos preparados a partir de caldo clarificado com 5 diferentes auxiliares de sedimentação, utilizando-se 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

5. CONCLUSÃO

Considerando-se os ensaios desenvolvidos, pode-se concluir que:

- a) Eficiência de Extração: A solução de CaCl_2 0,1mol/L é a mais eficiente para a extração de maior quantidade de proteínas das sementes de moringa.
- b) Caracterização da Proteína: Os extratos obtidos a partir das sementes de moringa apresentam duas proteínas da família das 2S albuminas, com peso molecular inferior a 14KDa.
- c) Teste de Dosagem dos Auxiliares de Sedimentação: A utilização de extrato a base de CaCl_2 (0,1mol/L), como auxiliar de sedimentação do caldo de cana, apresenta maior eficiência na precipitação de impurezas em relação aos obtidos de KCl, MgCl_2 e água.
- d) Clarificação do caldo de cana: O polieletrólito sintético apresenta maior eficiência na sedimentação de impurezas do caldo de cana. Os caldos clarificados resultantes de tratamentos em que se utilizam auxiliares de sedimentação orgânicos (Extrato de Sementes de Moringa, Extrato de Folhas de Moringa e Extrato de Acácia Negra) são similares aos que se utilizam flocculantes sintéticos.
- e) Açúcar: O uso de flocculantes no tratamento do caldo resulta em açúcar de menor cor e turbidez em relação ao tratamento testemunha. Não há diferenças na qualidade do açúcar quando compara-se os extratos de moringa e o polieletrólito sintético. As variedades de cana apresenta relação direta sobre estes parâmetros.
- f) Levedura em fermentação: Os flocculantes, mostos e variedades de cana-de-açúcar não afetam a fisiologia da levedura durante o processo fermentativo.

g) Vinho: A utilização de diferentes flocculantes não afeta a composição do vinho. A fermentação de mostos de melaço, nestas condições experimentais, resulta em vinhos com maiores teores alcoólicos.

6. REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, L. M. **Processo de Fabricação de Açúcar**. 2. Ed. UFPE: Recife, 2011.

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

AMORIM NETO, H. B. **Nova matéria-prima e a produção de etanol**. Workshop sobre limpeza da cana crua e qualidade da matéria-prima. Jaboticabal-SP, 2014. Disponível em: <http://www.stab.org.br/palestra_ws_limpeza_da_cana/HENRIQUE_NETO.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2015.

AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Fermentec: Piracicaba, 2005.

AMORIM, H.; BASSO, L.; ALVES D. G. **Processos de produção de álcool – controle e monitoramento**. FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP: Piracicaba, 1996.

ANDRZEJEWSKI, B.; EGGLESTON, G.; LINGLE, S.; POWELL, R. Development of a sweet sorghum juice clarification method in the manufacture of industrial feedstocks for value-added fermentation products. **Industrial Crops and Products**, v.44, p. 77-87, 2013.

AOAC. **Association of Oficial Analytical Chemists - Official methods of analysis**. 18. ed. AOAC: Gaithersburg, 1997.

BASSO, L. C.; BASSO, T. O.; ROCHA, S. N. Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation. In: BERNARDES, M. A. S. **Biofuel Production: Recent Development and Prospects**. São Paulo: INTECH e-book, 2011. p. 85-100.

BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Elsevier: Amsterdam, 2008.

BETTANI, S. R.; LAGO, C. E.; FARIA, D. A. M.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Avaliação físico-química e sensorial de açúcares orgânicos e

convencionais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.16, n.2, p. 155-162, 2014.

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, n.1-2, 2007.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. **Journal of Hazard Materials**, v.142, n.1-2, p. 477-482, 2006.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

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.

CAMOLEZ, M. A.; MUTTON, M. J. R. Influência de microrganismos contaminantes sobre o processo fermentativo. **STAB-Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 23, n.5, 2005.

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.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **2º Levantamento Cana-de-Açúcar Safra 2015/2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_51_14_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 15/09/2015.

CONSECANA. **Normas de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf>. Acesso em: 15/09/2015.

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

COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; FREITA, L. A.; ROVIERO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Reflexos da clarificação do caldo de cana com moringa sobre compostos inorgânicos do açúcar VHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.154–159, 2015.

COSTA, G. H. G. **Emprego do extrato de moringa (Moringa oleífera Lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar.** 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; FREITA, L. A.; ROVIERO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Use of Moringa oleífera Lamarck leaf extract as sugarcane juice clarifier: effects on clarified juice and sugar. **Food Science and Technology**, v.34, n.1, 2014a.

COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; ROVIERO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Reflexos do processamento de cana-de-açúcar bisada na qualidade do açúcar VHP. **Boletim do Centro de Processamento de Alimentos**, v.32, n.2, 2014b.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de métodos de análises para açúcar.** Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2009.

DAVINO, F. S. F. **Tecnologia de Tratamento de Água - Água na Indústria.** Editores Ltda: Rio de Janeiro, 1976.

DOHERTY, W. O. S.; SIMPSON, R. F.; RACKEMANN, D. W. Enhanced performance of caustic soda used for the removal of scale in sugar mill evaporators. **International Sugar Journal**, v.110, p. 344-349, 2008.

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

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

DUARTE-ALMEIDA, J. M.; SALATINO, A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Phenolic composition and antioxidant activity of culms and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) products. **Food Chemistry**, v.125, 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**, v.50, 2002.

FAO – Food and Agriculture Organization. **FAO Statistical Yearbook**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e03.pdf>>. Acesso em: 16/12/2013.

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

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

FREITA, L. A.; COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; ROVIERO, J. P.; STROPPIA, K.; MUTTON, M. J. R. Efeito de nutrientes na fisiologia da levedura em processo fermentativo. In: XXI ALAM – Congresso Latinoamericano de Microbiologia, 2012, Santos. **Resumos do XXI ALAM**, Santos, SBM, 2012.

FREIRE, J. E., VASCONCELOS, I. M.; MORENO, F. B.; BATISTA, A. B.; LOBO, M. D.; PEREIRA, M. L.; LIMA, J. P.; ALMEIDA, R. V.; SOUSA, A. J.; MONTEIRO-MOREIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. T.; GRANGEIRO, T. B. Mo-CBP3, an antifungal chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seeds, is a member of the 2S albumin family. **PLoS One**, v.10, n.3. 2015.

GASSENSCHMIDT, U.; JANY, K. D.; TAUSCHER, B.; NIEBERGALL, H. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1243, n. 3, 1995.

GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 39, 2005.

GIDDE, M. R.; BHALERAO, A. R.; MALUSARE, C. N. Comparative Study of Different Forms of *Moringa oleifera* Extracts for Turbidity Removal. **International Journal of Engineering Research and Development**, v.2, n 1, 2012.

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

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

HARTREE, E. F. Determination of protein: A modification of the Lowrey method that gives a linear photometric response. **Analytical Biochemistry**, v.48, n.2, 1972.

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

INGLEDEW, W. M. Yeast: physiology, nutrition and ethanol production. In: INGLEDEW, W. M.; KELSALL, D. R.; AUSTIN, G. D.; KLUHSPIES, C. **The alcohol textbook**. 5th ed. Nottingham University Press: Nottingham, 2009.

ITZHAKI, R. F.; GILL, D. M. A Micro-Biuret Method for Estimating Proteins. **Anal Biochemistry**, v.9, 1964.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v. 227, n. 5259, 1970.

LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology Bioengineering Symposium**, n.11, 1981.

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

MACRI, R. C. V; COSTA, G. H. G; MONTIJO, N. A. ; FERREIRA, A. S.; MUTTON, M. J. R. Moringa extracts used in sugarcane juice treatment and effects on ethanolic fermentation, v.13, p. 4121-4130, 2014.

MADRONA, G. S. **Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano**. 2010. 148 f. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MADRONA, G. S.; SEOLIN, V. J.; BERGAMASCO, R.; KLEN, M. R. F. The Potential of Different Saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 9, n.1, 2011.

MANGALE S. M.; CHONDE, S. G.; RAUT, P. D. Use of Moringa oleifera (drumstick) seed as natural absorbent and an anti microbial agent for ground water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v.1, n.3, 2012.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A.S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acacia mearnsii. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.1, 2013.

MANTELATTO, P.E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**. 2005. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

MASSON, I. S.; MEIRELES, M. B.; TEIXEIRA, V.; COSTA, G. H. G.; MUTTON, M. J. R. Melaço de cana-de-açúcar bisada na fermentação alcoólica. In: V Semana de Tecnologia do curso de Biocombustíveis – FATEC Jaboticabal, 5., 2012. **RESUMOS DA V SEMANA DE TECNOLOGIA**, Jaboticabal, FATEC, 2012.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; SOARES, C. M.; BOSCOLO, W. R. Níveis de gordura na alimentação de machos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), revertidos sexualmente, na fase inicial In: ACUICULTURA VENEZUELA '99, 1, 2000, Puerto de La Cruz. **Anais...** Puerto La Cruz: ASA, 2000. p. 348-357.

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.

MURTAGH, D.; TEBBLE, I. Flocculation in White sugar. **International Sugar Journal**, v.99, p.480-484, 1997.

MUTTON, M. J. R.; MISSIMA, J. O. D.; SILVANO, N.; SANTO, R. F. P.; COSTA, G. H. G. Qualidade tecnológica do melaço de cana-de-açúcar bisada. In: V Semana de Tecnologia do curso de Biocombustíveis – FATEC Jaboticabal, 5., 2012. **RESUMOS DA V SEMANA DE TECNOLOGIA**, Jaboticabal, FATEC, 2012.

OKOLI, C. Development of Protein-Functionalized Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Potential Application in Water Treatment. 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Royal Institute of Technology School of Biotechnology, Stockholm, 2012.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v.35, n.3, 2001.

OLIVA-NETO, P.; YOKOYA, F. Effects of nutritional factors on growth of *Lactobacillus fermentum* mixed with *Saccharomyces cerevisiae* in alcoholic fermentation. **Revista de Microbiologia**, v.28, 1997.

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, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA JUNIOR, J. F.; Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Food Science Technology**, v.27, supl., 2007.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Consecuencias sanitarias de las presencia de acrilamida en los alimentos**. OMS. Genebra, 2002.

PAVANI, C. D.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; COSTA, G. H. G.; MUTTON, M. J. R. Efeito da concentração de N, P, MG, MN e ZN sobre a fisiologia da levedura em fermentação. **Revista Ciência & Tecnologia**, v.5, 2013.

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

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. Contribution to the clarification of surface water from the Moringa oleifera: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, v.90, n.12, 2012.

RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J. P.; MUTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.2, 2011.

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

RIPOLI, T. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Ed. dos autores: Piracicaba, 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**, v.10, n.2, 2008.

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

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**, v. 24, n. 3, 2006.

SIMPSON, R. The Chemistry of Clarification. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**. Durban, África do Sul, 1996.

STEINDL, R. J. Clarification of cane juice for fermentation. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**. Australia, v. 27, p. 1-10, 2010.

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

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

TEIXEIRA, V. Extratos de semente de *Moringa* (*Moringa Oleifera* Lam) como floculante na clarificação do caldo de cana-de-açúcar. 2013 45 f. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal “Nilo de Stéfani”, Jaboticabal, 2013.

THAI, C. C. D. **Studies on the clarification of juice from whole sugar cane crop.** 2013. 253 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Queensland University of Technology, Queensland, 2013.

UNICA - União Canavieira do Estado de São Paulo. **Perspectivas para os mercados de açúcar e etanol.** 2011. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/download/Marcos_Jank-Painel4.pdf>. Acesso em: 15/09/2015.

VAN HOOK, W.A.; MANTOVANI, G.; MATHALOUTHY, M. **Sucrose Crystallization – Science and Technology.** Bartens: Berlin, 1997.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, 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. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, 2010.

VENTURINI FILHO, W.G; BRUNELLI L.; TONIAT,O. J; NOJIMOTO T.; NOVAES, F. V. Método simples para quantificar o metabolismo aeróbio e anaeróbio de levedura alcoólica. **Boletim do Centro de Processamento de Alimentos**, v.31, n.2, 2013.

WALKER, G. M. **Yeast Physiology and Biotechnology.** 1.ed. Wiley: Baltimore. 1998.

WALTHER, D. C.; KHAN, F.; WHITELAW, R. Some factors affecting the concentration of silica in cane juice evaporators. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, 72, p. 223-227. 1998.

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK, A.; LISIK, K. Contamination of commercial cane sugars by some organic acids and some inorganic anions. **Food Chemistry**, v.136, 2013.

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK, A.; LISIK, K. Starch Content in Various Types of Cane Sugars as a Criterion of Quality and Authenticity. **International Journal of Food Properties**, v.17, n.3, 2014.

YAMADA, E. A.; ALVIM, I. D.; SANTUCCI, M. C. C.; SGARBIERI, V. C. Composição centesimal e valor proteico de levedura residual da fermentação etanólica e de seus derivados. **Revista de Nutrição**, v.14, n.4, 2003.

APENDICE

Tabela 1A – Pré-análise das variedades de cana-de-açúcar utilizadas no experimento.

Variedades	Brix	Pol	Pureza	Fibra %	AR	Umidade	ATR kg/t
SP80-3280	23,27	21,21	91,15	13,53	0,20	67	172,30
CTC4	21,90	19,42	88,86	12,38	0,48	69	161,96
CTC7	19,49	16,96	87,02	11,81	0,52	71	143,92
IACSP95-5000	22,5	18,87	85	12,17	0,60	73	140,34
SP83-2847	22,7	18,24	80	13,11	0,76	75	130,12
CTC14	21,60	19,23	89,03	13,17	0,44	69	158,20

Tabela 2A – Valores médios obtidos para Velocidade de Sedimentação, Volume de Lodo, Acidez Total, Cor e Compostos Fenólicos Totais (CFT) do caldo clarificado com 5 diferentes flocculantes, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Vel. Sed	Vol. Lodo	Acidez Total	Cor	CFT
Variedades (V)	cm/min	mL	g/L	U.I.	mg/L
SP80-3280	0,78A	305BC	0,34E	13.488AB	245C
CTC4	0,83A	603AB	0,33DE	10.773CD	361C
CTC7	0,56B	439BC	0,49AB	15.174A	558A
IACSP95-5000	0,83A	370BC	0,42BC	12.240BC	416B
SP83-2847	0,01B	957A	0,41CD	8.068E	431B
CTC14	0,93A	143C	0,54A	9.451DE	422B
Teste F	3,98*	10,94**	24,18**	33,50**	120,48**
DMS	0,76	383,59	0,07	2037,45	30,74
CV	114,93	81,34	18,24	17,60	7,25
Flocculantes (F)					
Testemunha	0,05B	741A	0,45A	12.204AB	430
FSC	2,60A	242C	0,42AB	11.298ABC	417
Semente	0,39B	286C	0,41B	10.233C	411
Folha	0,12B	589AB	0,41B	13.194A	434
FOC	0,12B	489B	0,40B	10.732BC	419A
Teste F	82,05**	17,72**	5,40**	5,76**	2,01ns
CV	89,35	51,69	0,03	20,93	7,94
DMS	0,47	196,29	8,77	1950,77	27,10
Inter. VxF	4,23**	1,97*	3,39**	4,92**	2,68**

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxF – Interação entre variedade e flocculante.

Tabela 3A – Valores médios obtidos para Cinzas, Cor, Pol, Umidade, Compostos Fenólicos Totais (CFT) e pH dos açúcares produzidos a partir de caldo clarificado com 5 diferentes flocculantes, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Cinzas	Cor	Pol	Umidade	CFT	pH
Variedades (V)	%	U.I.	°Z	%	mg/L	
SP80-3280	0,21C	1.534A	97,53A	0,30A	233A	6,1B
CTC4	0,30B	1.388B	96,01B	0,31A	209A	6,1B
CTC14	0,44A	863C	97,74A	0,35A	164B	6,4A
Teste F	137,80**	109,13**	6,91*	0,98ns	21,30**	47,98**
DMS	0,03	133,58	1,42	0,11	29,89	0,08
CV	13,96	11,98	1,66	40,23	16,71	1,51
Flocculantes (F)						
Testemunha	0,39A	1.455A	97,45A	0,50A	257A	6,2AB
FSC	0,28B	1.278AB	95,69B	0,31BC	154C	6,2AB
Semente	0,39A	1.216BC	98,05A	0,35B	171C	6,1B
Folha	0,29B	1.277ABC	97,11AB	0,24BC	226AB	6,2AB
FOC	0,24B	1.082C	97,18AB	0,19C	203BC	6,3A
Teste F	10,29**	7,80**	4,12**	11,28**	9,55**	3,39*
CV	23,12	13,18	1,52	38,00	23,00	1,33
DMS	0,08	195,17	1,73	0,14	54,64	0,09
Inter. VxF	7,92**	4,01**	2,38*	3,07**	5,86**	2,73*

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxF – Interação entre variedade e flocculante.

Tabela 4A – Valores médios obtidos para Cinzas do melaço produzido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes flocculantes, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

	Cinzas
Variedades (V)	%
SP80-3280	2,21C
CTC4	2,86B
CTC14	4,65A
Teste F	6,3**
DMS	0,60
CV	23,89
Flocculantes (F)	
Testemunha	3,42A
FSC	2,35B
Semente	3,91A
Folha	3,29AB
FOC	3,23AB
Teste F	52,22**
CV	24,12
DMS	0,97
Inter. VxF	2,54*

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxF – Interação entre variedade e flocculante.

Tabela 5A – Valores médios obtidos para Açúcares Redutores Totais (ART) do mosto produzido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes flocculantes, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

ART	
Floculantes (F)	%
Testemunha	13,19A
FSC	12,76A
Semente	12,71A
Folha	13,30A
FOC	12,79A
Teste F	2,74ns
DMS	0,72
CV	6,26
Mosto (M)	
Caldo Clarificado	12,59B
Melaço	13,31A
Teste F	11,18**
DMS	0,45
CV	9,10
Variedades (V)	
SP80-3280	13,79A
CTC4	11,99C
CTC14	13,07B
Teste F	34,91**
DMS	0,52
CV	7,48
Inter. FxM	0,79ns
Inter. FxV	3,29**
Inter. MxV	6,57**
Inter. FxMxV	3,35**

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxF – Interação entre variedade e flocculante.

Tabela 6A – Valores médios obtidos para Brotamento e Viabilidade de Brotos do início, e Viabilidade Celular e Brotamento do final do processo fermentativo do mostos produzido a partir de caldo clarificado com 5 diferentes floculantes, a partir de 6 variedades de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP. Safra 2014/2015.

Floculante (F)	Início		Final	
	Brotamento	Viabilidade de Brotos	Viabilidade Celular	Brotamento
	%		%	
Testemunha	4,4B	51,5B	97,4A	14,8A
Polímero	6,6A	94,0A	95,3A	13,4A
Sementes	6,5A	93,7A	95,5A	11,0A
Folhas	3,3B	64,4B	94,8A	11,4A
Acácia Negra	3,9B	70,1B	96,6A	13,9A
DMS	1,5	20,8	4,40	3,85
CV	35,38	31,19	5,15	33,33
Teste F	17.29 **	15,43 **	36,05	3,50 *
Mosto (M)				
Caldo Clarificado	8,0A	87,9A	96,3A	12,4A
Melaço	1,8B	61,6B	95,6A	13,4A
DMS	0,6	10,6	1,66	1,42
CV	35,19	36,52	4,46	28,29
Teste F	371,36 **	27,73**	0,75ns	2,52ns
Variedade (V)				
SP80-3280	5,4A	82,1A	95,2B	12,2A
CTC4	5,2A	65,0A	95,0B	14,2A
CTC14	4,2A	77,2AB	97,6A	12,2A
DMS	1,3	14,4	1,99	2,11
CV	50,2	36,0	3,87	30,34
Teste F	2,55ns	4,30*	6,4 **	3,4*
Inter FxM	6,37**	8,11**	1,66ns	1,27ns
Inter FxV	10,94**	4,72**	1,40ns	6,25**
Inter MxV	0,94ns	0,75ns	2,99ns	0,69ns
Inter FxMxV	5,89**	3,89**	3,45**	2,14*

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Teste de Tukey 5%). As letras comparam médias na coluna. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS - Desvio Mínimo Significativo. CV - Coeficiente de Variação. Inter. VxF – Interação entre variedade e floculante.