



CLARIFICAÇÃO DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR: RELAÇÃO ENTRE A TURBIDEZ, PH E TEOR DE IMPUREZAS MINERAIS

CLARIFICATION OF SUGAR CANE BROTH: RELATIONSHIP BETWEEN TURBIDITY, PH AND CONTENT OF MINERAL IMPURITIES

Matheus Pereira Oliveira¹

Wesley Pontes²

Marcus Vinícius Cavalcanti Gandolfi³

RESUMO: O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de açúcar do mundo. Existem diversos tipos de açúcar e uma das principais características de qualidade é a cor dos cristais. No processamento de açúcar, uma das fases mais importantes que irá determinar a cor do mesmo é o tratamento do caldo. Esta fase permite a utilização de insumos para que ocorra a precipitação de constituintes que conferem cor ao produto final. Dentre outros fatores, o pH do caldo também é determinante. O presente trabalho estudou a influência do pH do caldo na remoção destas impurezas, tendo as análises de turbidez e cinzas condutimétricas como indicativos. Os melhores resultados obtidos foram com pH do caldo ajustado em 6,5. Segundo os resultados, não há necessidade de utilizar mais leite de cal para ajustar o pH do caldo para 7, reduzindo então, custos com o insumo utilizado.

Palavras chave: Tratamento de caldo; Turbidez; Cana-de-açúcar; Açúcar.

¹ Fatec Araçatuba, SP

² Unitoledo

³ Fatec Araçatuba, SP

ABSTRACT: Brazil is one of the largest producers and exporters of sugar in the world. There are several types of sugar and one of the main quality features is the color of the crystals. In sugar processing, one of the most important phases that will determine the color of it is the broth treatment. This phase allows the use of inputs to cause the precipitation of constituents that give color to the final product. Among other factors, the pH of the broth is also determinant. The present work investigated the influence of the pH of the broth on the removal of these impurities, with turbidity and conductimetry as indicators. The best results were obtained with broth pH adjusted to 6.5. According to the results, there is no need to use more milk of lime to adjust the pH of the broth to 7, reducing, therefore, costs with the used input.

Keywords: Broth treatment; Turbidity; Sugar cane; Sugar.

1. INTRODUÇÃO

O fomento da indústria sucroalcooleira no Brasil, para suprir a demanda por combustível alternativo no início de 1970, propiciou significativos avanços na participação de energia renovável na matriz energética brasileira e ainda contribuiu para a mitigação dos impactos ambientais gerados no consumo e exploração de combustíveis fósseis. O desenvolvimento desta agroindústria possibilitou o melhoramento tecnológico da produção do etanol, açúcar e bioeletricidade oriunda da biomassa residual. Dentre os produtos gerados pelo processo, o açúcar é grande responsável por parte dos resultados econômicos obtidos pelo setor, contribuindo para o aumento de exportações além de favorecer o desenvolvimento macroeconômico nacional.

Para a safra 17/18 no Brasil, estima-se o processamento de 635,5 milhões de toneladas de cana. Mesmo com pequena redução da área destinada à cultura, a aplicação de variedades mais eficientes, novos tratamentos culturais, melhoria nos sistemas envolvidos no plantio, colheita e processamento garantem estabilidade a cadeia produtiva (CONAB, 2017). A destinação dos Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) extraídos da matéria-prima segue a rentabilidade dos produtos comercializados no mercado futuro. Como o açúcar tem apresentado maior retorno econômico nos últimos anos, houve um incremento de sua produção conforme apresentado na figura 1.

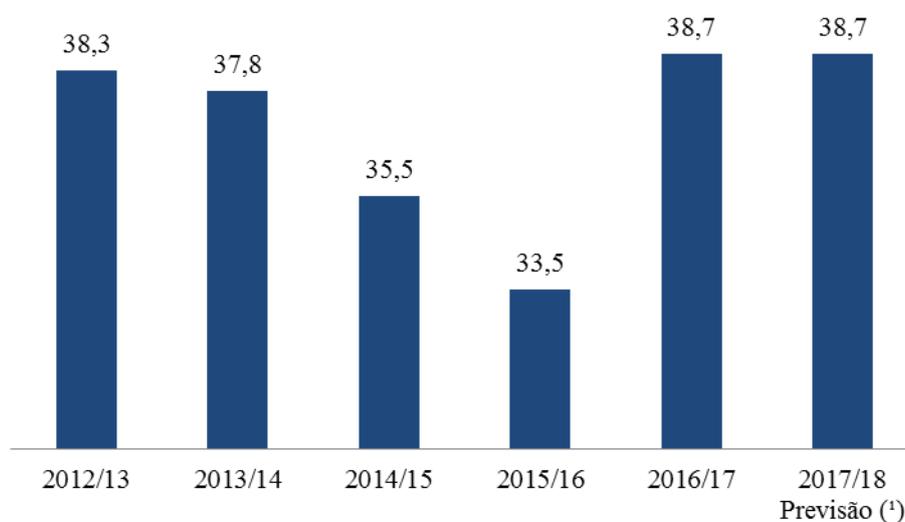


Figura 1 – Produção brasileira de açúcar (milhões de toneladas).

Fonte: CONAB, 2017.

Para a comercialização, o produto é classificado como tipos de açúcar que devem atender a especificações para garantir a integridade e qualidade. Para atender as exigências dos compradores são estabelecidas análises físico-químicas, sendo as mais importantes: Cor ICUMSA, Resíduos Insolúveis, Polarização entre outros. Os resultados obtidos nestas análises refletem a presença de impurezas indesejadas presentes na cana desde a lavoura até a fabricação do açúcar. Um dos processos de clarificação do caldo é a calagem do caldo. Este processo permite a formação de precipitados com a cal e principalmente os fosfatos presentes no caldo. A utilização de Hidróxido de Cálcio também propicia o aumento do pH do caldo, tornando o meio mais adequado para a ação do floculante. O floculante age como sequestrante de partículas coloidais, que ao se ligarem no mesmo, aumentam sua massa e se depositam no fundo do decantador. Deste modo, o trabalho tem como objetivo apresentar pontos para o controle das impurezas no processo e verificar como a alteração do pH do caldo durante a calagem contribui para a diminuição das impurezas do caldo após a etapa de clarificação, garantindo a conformidade do açúcar comercializado aos parâmetros de qualidade estabelecidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre as caracterizações da qualidade do açúcar a Cor ICUMSA é utilizada para classificar o produto e indica a cor dos cristais. A alteração deste parâmetro pode ser originada pelo amarelamento da sacarose devido ao aquecimento excessivo durante os processos industriais ou pela presença de açúcares redutores (glicose e frutose) na forma de filme na superfície do cristal resultante de uma centrifugação ineficiente (OLIVEIRA et. al. 2007).

A presença de Resíduos Insólúveis, Cinzas e Cinzas Condutimétricas indicam a presença de impurezas minerais e sais gerados nas etapas químicas do caldo nos cristais de sacarose. Desta maneira para garantir a conformidade destes parâmetros no açúcar produzido atendendo a demanda dos compradores devem ser monitorados as condições operacionais de todo o processo, ou seja, da colheita mecanizada até as últimas operações de separação e secagem do açúcar.

Com a mecanização da colheita da cana em mais de 90% das áreas de cultivo na safra 2016/2017 no estado de São Paulo, houve benefícios ambientais e de aumento da qualidade do açúcar. A colheita da cana crua com máquinas vem sendo feita no estado de São Paulo desde 2002 e é realizada na maioria das áreas de cultivo acima de 150 hectares para facilitar o deslocamento dos equipamentos e sistemas de apoio utilizados. Outro entrave para este tipo de equipamento, são terrenos com declividade acima de 12%, nestes casos, é possível efetuar a correção da inclinação aplicando terraços de cultivo ou com a aplicação de outra cultura (FREDO e CASER, 2017).

Ao evitar a queimada da cana há a redução de fuligem aderida ao colmo e da terra arrastada com a cana durante as etapas de carregamento da matéria-prima, por conseguinte uma diminuição do teor de impurezas minerais presentes na cana (BRASSOLATTI et al., 2016). Estas impurezas interferem na qualidade do açúcar e por meio da abrasão proporcionam o desgaste excessivo dos equipamentos. De acordo com Benedini et al., (2017) os valores aceitáveis estão entre 3 a 6 kg de impurezas minerais por tonelada de cana, resultando em uma perda aceitável de cana na forma de cana inteira, pedaços de cana, lascas, toletes, toco e ponta da cana. A operação da colhedora de cana está ligada diretamente a presença destes materiais já que o aumento da velocidade de rotação do extrator primário de impurezas e da velocidade do deslocamento aumenta as perdas da matéria-prima e aumenta o teor de impurezas vegetais presentes nos colmos colhidos. A presença de impurezas vegetais, material de origem vegetal ausente de

sacarose, diminui produtividade de cana por área cultivada e diminui a eficiência das etapas de recebimento, preparo e extração do caldo devido ao aumento da energia consumida por massa de produto (RAMOS et al. 2016).

Durante o processamento da matéria-prima nas usinas, a remoção das impurezas minerais ocorre em grande parte pela mesa alimentadora. Neste equipamento ocorre a transferência da cana por uma esteira inclinada em um ângulo de 45 graus, aumentando a eficiência da etapa de limpeza por meio de um controle da vazão mássica de material, alimentado de maneira contínua ao processo industrial. As impurezas minerais são removidas pelas peneiras no fundo da mesa alimentadora pelo contato entre os colmos (BRASSOLATTI et al. 2016).

Após o preparo e a extração o caldo segue para etapas de tratamento para remover as impurezas insolúveis e diminuir a inversão da sacarose em glicose e frutose que são açúcares não cristalizáveis. Durante a clarificação do caldo a ser transformado em açúcar bruto para exportação, a remoção das impurezas minerais acontece devido as etapas de calagem e decantação (ALBUQUERQUE, 2009 e BRASSOLATTI et al., 2016).

Durante a calagem é adicionado uma solução de hidróxido de cálcio (leite de cal) com o intuito de promover a neutralização dos ácidos orgânicos presentes no caldo e formar sais os fosfatos presentes no caldo. Os sais formados nesta etapa precipitam em pH neutro e arrastam outras impurezas que aumentam a cor do açúcar gerando então o caldo clarificado. O pH do caldo é monitorado após a calagem e deve ser mantido em torno de 7,0 para garantir a eficiência da clarificação (ALBUQUERQUE, 2009).

Após a calagem e o aquecimento o caldo é enviado ao decantador para a remoção das impurezas. Ao diminuir a velocidade de escoamento do fluido no decantador, o peso das partículas insolúveis concentra este material no fundo do equipamento na forma de lodo, que após ser filtrado para a recuperação de sacarose é destinado para a lavoura como torta de filtro. O caldo clarificado com menor número de partículas e, portanto com menor turbidez é concentrado nos evaporadores e segue na forma de xarope para depois de algumas operações formarem os cristais de sacarose. A presença de impurezas minerais nos cristais é determinada pelo teor de cinzas no açúcar, ou seja, material inorgânico presente no material que interfere na classificação e no preço do açúcar (ALBUQUERQUE, 2009).

A carbonatação é um processo alternativo de clarificação do caldo de cana e consiste na adição de leite de cal e dióxido de carbônico. Este processo é aplicado na purificação do caldo de beterraba aproveitada na produção de açúcar em países como Inglaterra, Austrália e África do Sul. Em condições controladas, ocorre a formação e precipitação do carbonato de cálcio. Este adsorve e incorpora grande parte da matéria coloidal e insolúvel durante a etapa de decantação, diminuindo a cor do caldo de cana clarificado. Hamerski et al. (2011) verificaram que a diminuição da turbidez ocorre de maneira expressiva com pH acima de 7 indicando a contribuição da remoção de impurezas durante a decantação de sais insolúveis formados na calagem. Nas amostras com pH de 8 e 9 ocorreu além da clarificação a diminuição da inversão da sacarose em açúcares reductores não cristalizáveis contribuindo o aumento da eficiência da formação dos cristais de açúcar. Estas condições reacionais também resultaram em diminuição do teor de amido e na redução da cor ICUMSA do caldo acarretando benefícios econômicos da comercialização do açúcar.

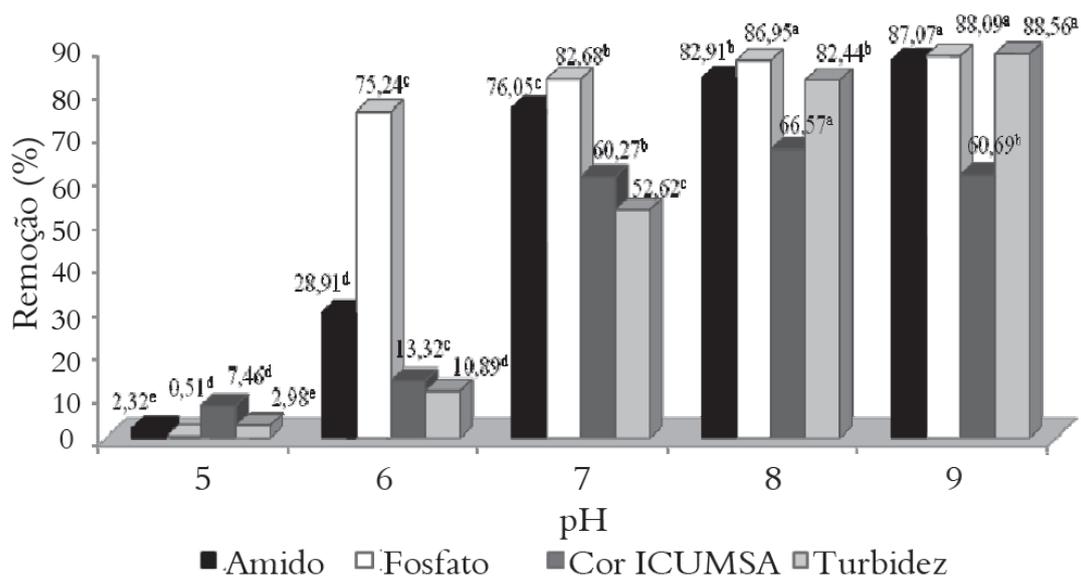


Figura 2 - Remoção de amido, fosfato, cor ICUMSA e turbidez.

Fonte: Hamerski et al. (2011).

Desta maneira, a redução da turbidez do caldo é um importante parâmetro para promover a clarificação do caldo da cana, reduzindo a quantidade de não açúcares nos cristais, agregando valor ao produto e atendendo as especificações estabelecidas pelos compradores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no laboratório de produção de biocombustíveis da FATEC de Araçatuba no estado de São Paulo. As etapas de picar e desfibrar a cana foram realizadas com o auxílio de um desintegrador da marca Dedini, modelo D2500. A extração do caldo foi realizada em uma prensa da marca Marconi modelo MA098/CANA, seguindo o método proposto pela CONSECANA, submetendo a amostra de cana desfibrada a uma pressão mecânica de 250Kgf.cm^{-2} durante um minuto. Assim foi realizado o aquecimento das amostras de caldo a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a adição de terra como impurezas minerais em teores de 0,25; 0,5 e 0,75% (m/m), valores semelhantes aos relatados nas usinas do oeste paulista. O pH foi ajustado nos valores de 6; 6,5 e 7 utilizando uma solução a 1% (m/m) de hidróxido de cálcio.

As metodologias empregadas para as análises de cinzas condutimétricas, pH e turbidez, no caldo de cana-de-açúcar estão descritas em Copersucar (2001) e são baseadas nos métodos recomendados pela ICUMSA – *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis.*)

As amostras de caldo foram aquecidas até a temperatura de 60°C para iniciar a correção do pH e verificar a influencia desta variável do processo na clarificação. Para isso, foi adicionado leite de cal na concentração mássica de 5% de hidróxido de cálcio ajustando o pH das amostras de 6 a 7. Em seguida houve a adição de terra resultando em uma fração mássica entre 0,25 e 0,75% de impurezas minerais. Posteriormente, a temperatura do sistema foi elevada para $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ e permanecendo por 10 minutos. Para auxílio na decantação, em provetas de 2000mL foi adicionado 0,1% de polímero (m/m) comercial para a coleta do caldo clarificado após 40 minutos de decantação.

O Brix das amostras de caldo bruto e clarificado foi realizado com o auxílio de um refratômetro digital da marca Quimis, modelo Q76780. A turbidez dos caldos foi realizada nas amostras diluídas para 1°Brix no turbidímetro MS TECNOPON modelo BT1000. A análise de Cinzas condutimétricas foi realizada com o auxílio de um condutivímetro da marca Gehaka modelo CG1800.

4. RESULTADOS

A adição de terra nas amostras não promoveu uma alteração significativa no Brix e na turbidez antes de iniciar o aquecimento do caldo, conforme tabela 1. A alteração do Brix ocorre principalmente pela diferença do teor de açúcar presentes nas canas de diferentes talhões colhidos.

Com a adição da terra nas amostras houve uma diminuição da turbidez do caldo causada por partículas sólidas em suspensão (argila e matéria orgânica) que formam coloides e interferem na propagação da luz pela água. A interação das impurezas adicionadas com as ceras, açúcares e demais constituintes do caldo podem ter alterado o tamanho das partículas, sua forma geométrica dispersiva da luz e sua coloração alternado a absorção e reflexão da luz pela solução.

Tabela 1 – Valores do Brix e da Turbidez após a adição da impureza mineral.

Teor de Impureza (% , m/m)	Brix (% , m/m)	Turbidez (NTU)
0	16,5	52,4
0,25	18,5	50,1
0,5	20,6	46,8
0,75	17,6	45,8

Após o tratamento do caldo com aquecimento das amostras, adição de leite de cal e decantação foi determinado o Brix, Turbidez e Cinzas Condutimétricas para o caldo clarificado. Os resultados são apresentados na tabela 2, em função do teor de impureza e pH do caldo aplicado durante o tratamento químico.

Tabela 2 – Resultados da Clarificação do caldo em função do teor de impureza e pH do tratamento.

Teor de impureza (% , m/m)	pH Ajustado	Brix	Turbidez (NTU)	Cinzas Condutimétricas (ns)	Cinzas Condutimétricas (%)
0	5,5	18,9	63,1	425	0,8
	6	17,6	62,8	415	0,7
	6,5	16,6	19	393	0,7
	7	17,1	14,7	389	0,7

	5,6	23	56,3	545	1
0,25	6	18,9	57,2	480	0,9
	6,5	18,3	9,1	465	0,8
	7	17,7	8,1	456	0,8
0,5	5,3	27,3	55,1	392	0,7
	6	21,2	26,6	321	0,6
	6,5	20,6	3,3	308	0,6
	7	19,4	2,6	295	0,5
0,75	5,4	24,3	59	555	1
	6,1	17,6	57,4	438	0,8
	6,5	17	16	426	0,8
	7	17,4	9,6	418	0,7

Enquanto nas amostras de caldo clarificado sem a adição de impurezas não apresentaram variação significativa do Brix as amostras com impurezas apresentaram outro comportamento. Neste caso, o aumento do pH durante a etapa de tratamento de caldo promove a redução do Brix do caldo clarificado. Como o Brix determina o teor de sólidos solúveis presentes na solução, pode ter ocorrido uma reação entre o hidróxido de cálcio com os fosfatos presentes no caldo, resultando então, em uma maior formação de sais insolúveis. Deste modo, a adição de leite de cal durante o tratamento de caldo até o pH 6,5 e 7 promoveram uma diminuição do Brix do caldo clarificado mesmo nas amostras que receberam impurezas.

A eficiência do processo de remoção das impurezas durante o tratamento do caldo pode ser monitorada pela redução da turbidez do caldo bruto (tabela 1) e do caldo clarificado após a decantação (Tabela 2). A adição de leite de cal até a correção do pH para 6,5 foi suficiente para promover uma redução significativa da turbidez.

A redução da turbidez (figura 3) e das cinzas condutimétricas do caldo clarificado (figura 4) em função do ajuste do pH foram feitas tomando como base as amostras que durante o tratamento do caldo não receberam leite de cal (pH ~ 5,5) mas passaram pelas etapas de aquecimento, adição de impurezas e decantação.

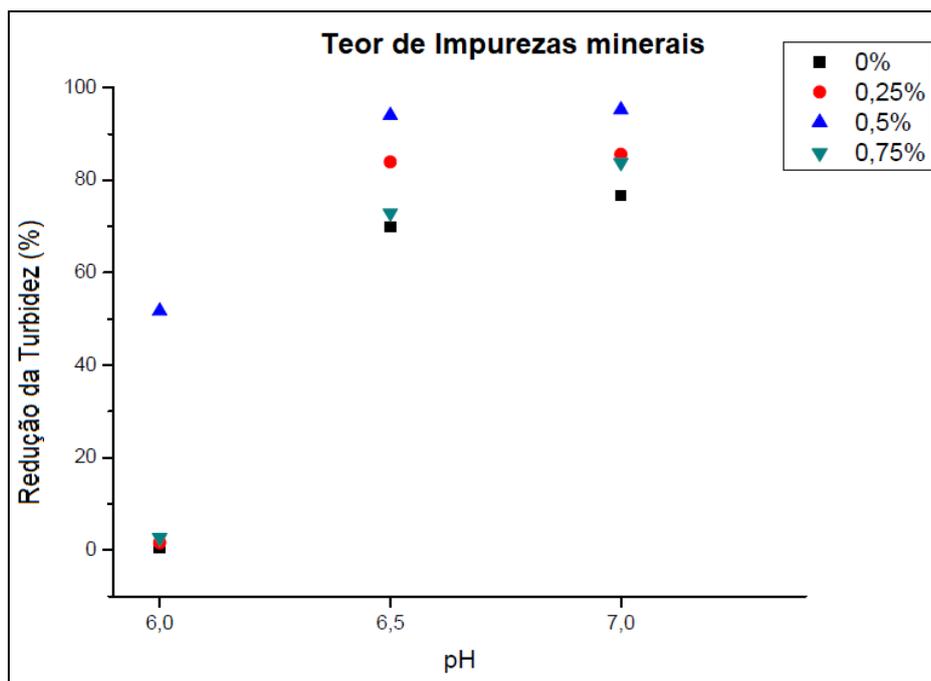


Figura 3: Redução da turbidez (%) em relação ao pH do caldo.

Com o aumento do pH do caldo durante o tratamento houve a redução da turbidez e das cinzas condutimétricas indicando a necessidade de controle para e adição correta do leite de cal e garantir a eficiência da decantação. Com isso há a redução das partículas dispersas na solução possibilitando a produção de açúcar com menor teor de cinzas ao final do processo. Vale ressaltar que a diferença dos valores de turbidez e cinzas condutimétricas entre os pH 6,5 e 7 não é significativa.

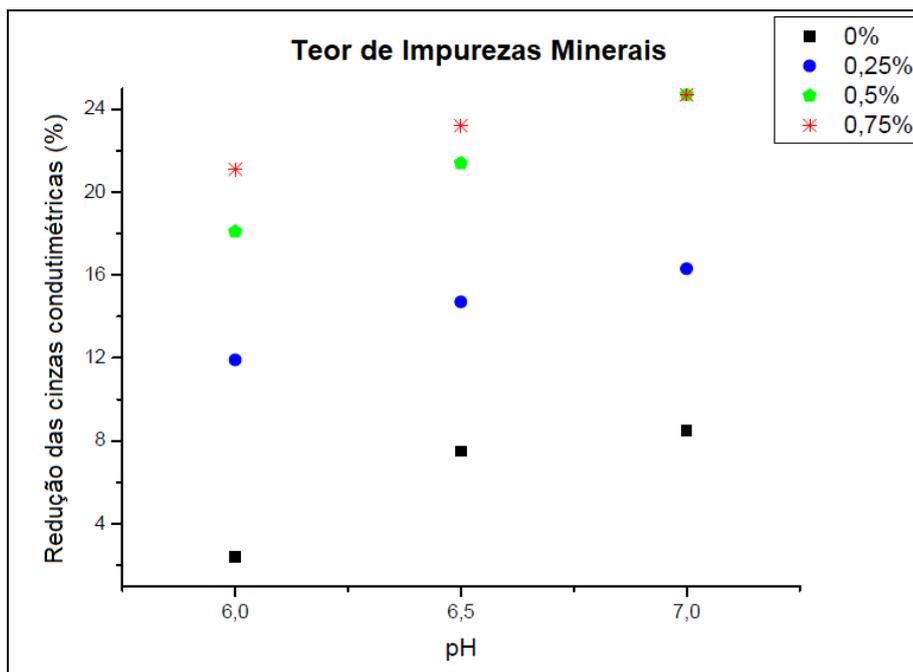


Figura 4: Redução das cinzas condutimétricas em relação ao pH do caldo.

A maior redução da turbidez ocorreu na presença de 0,5% (m/m) de impurezas minerais no caldo bruto. Isto indica que a eficiência da clarificação do caldo está relacionada com o teor de impurezas minerais presentes na cana processada e pode gerar economia no processo de tratamento do caldo pelo monitoramento das condições de colheita da cana e no controle da adição de leite de cal na calagem mantendo a turbidez aceitável com um com o pH corrigido apenas para 6,5. Pelos gráficos também é possível analisar que as porcentagens de redução da turbidez e cinzas condutimétricas é maior nas amostras que possuem maior teor de impurezas. Uma hipótese para tal fato, seria que quanto mais impurezas, maior a agregação das mesmas ao polímero, proporcionando então, um aumento de velocidade de decantação favorecida pelo aumento da massa dos conglomerados formados.

5. CONCLUSÕES

A da adição de cal para a regulação do pH do caldo é uma etapa de suma importância para o processo de tratamento do caldo por estar diretamente ligado a turbidez e na cor final do açúcar produzido. De acordo com os dados apresentados, é possível

concluir que não há necessidade de regular o pH para mais que 6,5, o que pode ser vantajoso em relação a menos custos com leite de cal. Pode-se concluir também, que o teor de impurezas presentes no caldo também interfere nos valores de turbidez, sendo que uma maior quantidade de impurezas proporciona em um caldo final com menor turbidez e menores quantidades de cinzas condutimétricas. Deste modo trabalhos futuros devem determinar relação do pH na inversão da sacarose e verificar a aplicação destes resultados em testes industriais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F. M., **Processo de fabricação do açúcar**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2009.
- BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. Perdas e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada. Boletim técnico, Guariba, v.1 , n.1 , p. 1-7 , 2009.
- BRASSOLATTI, T. F Z.; VIEIRA, R. C.; COSTA, M. A. B.; BRASSOLATTI, M. Análise do Percentual de Impurezas Vegetais e Minerais Presentes na Cana-de-Açúcar, **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, 2016.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2017/18, v. 4, n. 3, 2017.
- FREDO, C. E.; CASER, D. V. Mecanização da Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 90% na Safra 2016/17. **Análises e Indicadores de Agronegócio**. v. 12, n. 6, 2017.
- HAMERSKI, F., AQUINO, A. D., NDIAYE, P. M., Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por carbonatação – ensaios preliminares, **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 3, p.337-341, 2011.
- RAMOS C. R. G.; LANÇAS. K. P.; SANTOS, R. S.; SILVA, L. S. Perdas e impurezas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes configurações de trabalho da colhedora, **Revista Energia na Agricultura**, v. 31, n. 4, 2016.