



INFLUÊNCIA DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO NA TURBIDEZ DO CALDO DE CANA DE AÇUCAR

INFLUENCE OF CALCIUM HYDROXIDE IN THE TURBIDITY OF AÇUCAR

Cleber Fedozzi¹

Charles Fernando Goularte Silva²

João Vitor Assis Santos³

Michely Queiroz Prado⁴

Adonis Coelho⁵

Wesley Pontes⁶

Marcus Vinícius Cavalcanti Gandolfi⁷

RESUMO: A turbidez do caldo clarificado é um parâmetro indicador da eficiência do processo, visto que identifica a quantidade de partículas presentes no caldo e a alta concentração de impurezas pode implicar em uma cor (ICUMSA) fora dos padrões de qualidades necessárias para o açúcar. O presente trabalho teve como objetivo verificar a influência da adição de hidróxido de cálcio na turbidez do caldo. Para isso, foi adicionado hidróxido de cálcio com concentração 2% (m/m), até pH 6,0, 6,5 e 7,0 em sistema aquecido e com agitação por 30 minutos, sendo posteriormente adicionado polímero para decantação e realizado as medidas do grau Brix e turbidez. Verificou-se diminuição da turbidez com o aumento da quantidade de hidróxido de cálcio adicionado (aumento do pH) resultado da formação de sais insolúveis que proporcionam o arraste das partículas durante a sedimentação.

Palavras-chave: Turbidez; Hidróxido de cálcio; Cor ICUMSA.

¹ Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

² Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

³ Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

⁴ Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

⁵ Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

⁶ Centro Universitário Toledo – UniToledo Araçatuba

⁷ Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

ABSTRACT: The turbidity of the clarified broth is an indicator parameter of the efficiency of the process, since it identifies the amount of particles present in the broth and the high concentration of impurities can imply in a color (ICUMSA) outside the quality standards required for the sugar. The aim of the present work was to verify the influence of the addition of calcium hydroxide on broth turbidity. For this, 2% (m/m) calcium hydroxide was added to pH 6.0, 6.5 and 7.0 in a heated system with stirring for 30 minutes, followed by addition of polymer for decantation and Brix measurements and turbidity. Turbidity was reduced by increasing the amount of calcium hydroxide added (increasing the pH) resulting from the formation of insoluble salts that provide the entrainment of the particles during sedimentation.

Keywords: Turbidity; Calcium hydroxide; Color ICUMSA.

1. INTRODUÇÃO

Impulsionada nos anos 70 pela produção do etanol como combustível alternativo de origem renovável, a área ocupada e a produtividade da cana-de-açúcar aumentaram. O desenvolvimento desta agroindústria foi obtido pela adoção de novas espécies cultivadas, planejamento devido às condições econômicas e principalmente pelo fortalecimento do comércio do açúcar e do etanol em conjunto com novos produtos: energia elétrica, comércio da biomassa, levedura e do óleo fúsel.

O açúcar é o produto base das usinas desde a época dos engenhos sendo utilizado em vários seguimentos como: indústrias alimentícias, construção civil, indústrias fermentativas e até mesmo na indústria farmacêutica (MARTINS et al., 2016).

Com implantação de muitas usinas sucroalcooleiras no mercado brasileiro, houve a expansão das exportações de açúcar e derivados. A impulsão recente deste agronegócio foi obtida pela valorização das moedas internacionais, comercialização do açúcar no mercado internacional como uma *commodity* com elevada rentabilidade. Para agregar valor a este produto foram implantados novos padrões de qualidade, visando melhorias nos processos para atender as exigências impostas por seus consumidores (VALE, 2014).

A produção da cana-de-açúcar iniciou-se no período colonial, e hoje é uma das principais culturas agrícolas da economia brasileira. O Brasil é responsável por mais da metade de todo o açúcar comercializado no mundo. Apresenta como destaque a maior

produção de etanol mundial a partir da cana-de-açúcar e o aproveitamento do bagaço na produção de energia elétrica renovável (AGRIC, 2018).

O Brasil possui mais de 400 usinas de processamento de cana-de-açúcar, envolvendo aproximadamente 70 mil produtores da matéria-prima. A produção nacional (Tabela 1) demonstra uma cultura consolidada e com pouca variação de produtividade. Além do clima, a produção pode ser alterada pela idade das lavouras, renovação do canavial, incidência de pragas e principalmente pelo retorno econômico da cultura que pode inibir a expansão em novas áreas. Atualmente a cultura está concentrada na região Centro Sul do país, englobando os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Os novos cultivos têm se expandido principalmente à região Centro-Oeste, devido principalmente aos menores preços de terras.

Tabela1. Produção brasileira de cana-de-açúcar na última década

Ano/Safra	Cana-de-açúcar (ton.)
2013/2014	658.697.545
2014/2015	637.714.365
2015/2016	666.304.044
2016/2017	657.572.586
2017/2018*	617.472.623

Fonte: MAPA, 2018 e UDOP. (*) valores atualizados em 01/02/2018.

Para resultar em um açúcar que atenda as demandas dos compradores e aumentar o valor agregado é necessário seguir padrões de qualidade nacionais e internacionais (VALE, 2014). A cor do açúcar é um dos principais aspectos de avaliação da qualidade do produto. Este parâmetro está ligado à remoção de impurezas do caldo sendo monitorado por meio da turbidez do material durante seu processamento.

O objetivo do trabalho é verificar a remoção da turbidez do caldo clarificado comparando a turbidez de amostras com diferentes teores de hidróxido de cálcio adicionado durante o tratamento de caldo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os compradores de açúcar, principalmente as indústrias de alimentos e bebidas, têm exigido que o produto atenda as diferentes especificações tecnológicas para atestar a qualidade do produto e garantir sua aplicação pelos compradores. Desta maneira as principais características a serem atendidas são: cor, granulometria, umidade, teor de impurezas minerais e a qualidade microbiológica (OLIVEIRA et al., 2007).

Para que se obtenha um produto final com as qualidades citadas acima são necessárias que sejam atendidas as etapas que envolvem desde o cultivo até o armazenamento dos cristais de sacarose presentes na cana-de-açúcar. Além disso, são realizadas várias análises laboratoriais para o controle e manutenção da qualidade do produto em vários pontos do processo.

A turbidez é uma medida do espalhamento de luz produzido pela presença de partículas coloidais ou em suspensão, e é expressa como unidade nefelométrica de turbidez (NTU - *Nephelometric Turbidity Unity*). A turbidez do caldo clarificado é utilizada ao final das etapas de tratamento químico do caldo e decantação, sendo um parâmetro indicador da quantidade de sólidos solúveis ainda presentes no caldo, verificando assim a eficiência do processo. Pois uma alta concentração de dessas impurezas irá implicar ao final do processo de fabricação do açúcar em uma cor (ICUMSA) fora dos padrões de qualidades necessárias (OLIVEIRA et al., 2007 e HAMERSKI, 2009).

As impurezas presentes no caldo são, originalmente, provenientes da própria cana, sendo esta quantidade variável ao longo do processo industrial. A princípio, as impurezas minerais (terra e pedriscos) presentes na cana e que chegam até a unidade agroindustrial, ocorre por falhas nas etapas de colheita. Com o nível de mecanização implementada nesta etapa é necessário que sejam respeitadas as velocidades de deslocamento do equipamento e do sistema de extrator primário responsável pela remoção da palha conforme relatado por Ramos e colaboradores (2016).

Garantida a sanidade da cana durante a etapa de cultivo e colheita, este material é recebido na indústria sucroenergética para ser processado. Deste modo operações envolvendo o preparo e a extração do caldo visam destinar a parte líquida para as etapas de tratamento de caldo enquanto o bagaço é aproveitado na geração de energia elétrica e térmica (PAYNE, 1990).

O sistema de extração aplicado na usina pode contribuir para a diminuição do teor de resíduo insolúvel no açúcar produzido. Como alternativa ao sistema de moagem, a

extração do caldo-de-cana pelo difusor contribui na qualidade do caldo, apresentando maior eficiência de extração devido à aplicação de embebição em alta temperatura em um sistema em contracorrente ao sentido de deslocamento do colchão de cana preparada, promovendo vários pontos de lixiviação e difusão do açúcar presente nas células de armazenamento, fazendo-se a retenção de parte das impurezas insolúveis pelas fibras da cana.

Assim, o caldo a ser enviado para o tratamento apresenta um menor teor de impurezas e contribui para a diminuição da presença destes materiais no açúcar produzido. Vale ressaltar, que neste tipo de operação ocorre um aumento de arraste da clorofila e de outras partículas coloidais que podem aumentar a cor do açúcar e restringir a operação da indústria para atender especificações mais exigentes (ALBUQUERQUE, 2009 e PAYNE, 1990). O sistema de moendas responsável pela extração do caldo da cana é adotado na maior parte das usinas do setor sucroenergética do país. Porém, a extração difusora está sendo adotada em alguns dos novos empreendimentos do setor por apresentar elevada eficiência.

Durante a purificação do caldo no tratamento, insumos químicos são adicionados nas etapas de sulfitação, caleação e fosfatação com a finalidade de remover materiais que aumentam a cor do açúcar. Para a produção de açúcar VHP (*Very High Polarization*), fabricado pela maioria das usinas, apenas se faz necessária a caleação ou calagem do caldo. (ALBUQUERQUE, 2009).

O tratamento do caldo propicia a remoção das impurezas para resultar em um açúcar com menor cor e maior valor agregado de mercado. Desta maneira uma cana-de-açúcar sadia apresenta um caldo com pH de 5,3 a 5,5, tornando necessário fazer a neutralização com hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para evitar a inversão de sacarose em açúcares redutores não cristalizáveis e favorecer a clarificação do caldo durante a caleação. Em pH neutro ocorre a formação de precipitado de pequenos cristais de CaSO_3 (sulfito de cálcio), que possui grande atividade superficial sendo portanto, fortemente absorvente e, além disso, em razão da sua alta densidade, resultam em poderosos auxiliares de decantação. Também ocorre a formação de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (fosfato de cálcio), presente no caldo da cana que reage com a cal adicionada, formando fosfatos de cálcio insolúveis que provavelmente são os principais agentes de purificação na separação de outros não açúcares. A composição do precipitado formado consiste em uma mistura de fosfato dicálcico e fosfato tricálcico (ALBUQUERQUE, 2009).

O cálcio reage com muitos ácidos orgânicos formando sais que se dissociam fracamente e, tem tendência de associar-se com aminoácidos e íons complexos. Em um sistema complexo tal como o caldo da cana, onde grande número de substâncias moleculares, coloidais e dispersas é capaz de reagir com a substância adicionada, formando produtos que podem ser insolúvel, ligeiramente ionizado ou volátil, e é provável que a alcalinização do caldo de cana raramente alcance condições de equilíbrio. Por esta razão, se considera a reação de precipitação do fosfato de cálcio a mais importante (ALBUQUERQUE, 2009).

Após as etapas químicas o caldo é enviado para o processo de aquecimento, o que proporcionará melhoramentos bastante significativos para o processo de produção de açúcar com menor cor. O objetivo dessa operação é finalizar as etapas químicas, fazendo com que sejam removidas todas as impurezas coloidais e proteicas. O aquecimento do caldo não deve ultrapassar os 105°C, pois isso acarretará na emulsão de ceras e inversão da sacarose. Os sais formados são insolúveis às altas temperaturas, possibilitando melhor decantação. Para a troca de calor eficiente, utilizam-se os trocadores de calor tipo carcaça/tubo tanto vertical, horizontal, placas ou espiral (LOPES, 2011).

Os trocadores de calor (Figura 1) são interligados em um conjunto, podendo citar como exemplo, composto por três aquecedores em paralelo, formando-se assim os passes para a troca térmica. Essa troca térmica ocorre com a passagem de caldo (fluido frio) pelo interior dos tubos e a circulação externa do vapor (fluido quente) ao caldo. Com essa integração energética ocorre à condensação do vapor e, para aumentar a eficiência energética do processo, o condensado pode ser enviado para a caldeira ou ser empregado na embebição da cana durante a etapa de extração (GOMES, 2016).

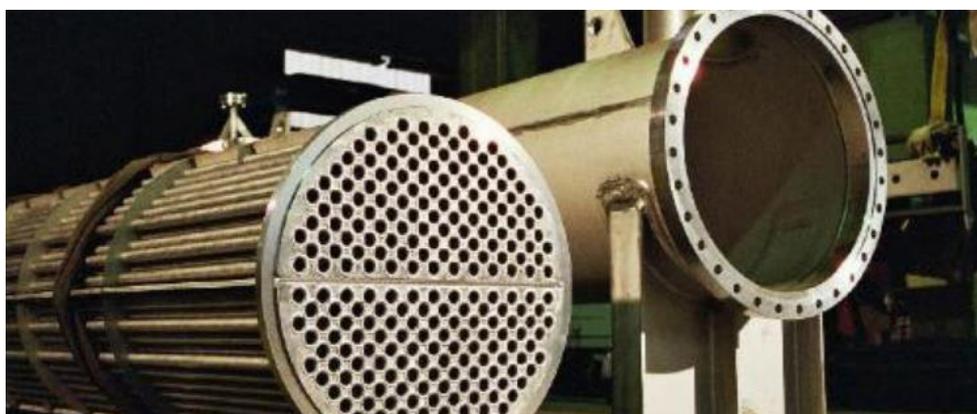


Figura 1. Aquecedor de caldo tubular - site ZANINI.

Disponível em: < <http://www.sermatec.com.br/produtos/trocador-de-calor/> Acesso em: maio. 2018.

O processo de clarificação do caldo (decantação) necessita de um controle do tratamento do caldo antes de entrar no decantador (Figura 3), evitando formação de gases no interior do mesmo, através da boa distribuição do fluxo de caldo e a correta eliminação de gases. A eficiência é determinada pelo tempo de retenção necessária para obter a decantação do lodo (ALBUQUERQUE, 2009).

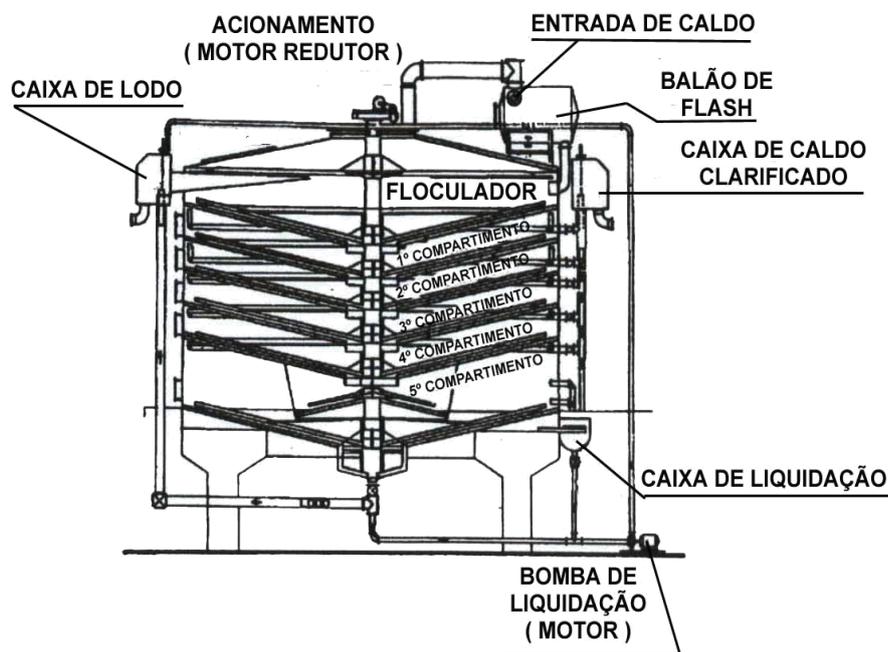


Figura 3 - Tanque de decantação (ALBUQUERQUE, 2009).

Após a aplicação das etapas químicas (sulfitação, calagem, e se necessário a fosfatação), e da decantação (clarificação do caldo), pretende-se obter um caldo livre de impurezas, para se produzir um açúcar com a menor cor possível. O outro fluxo gerado pelo decantador é o lodo, onde se encontra o material insolúvel precipitado que deve ser separado para que o caldo contido no volume que chega a 10% ou mais, seja aproveitado, o equipamento utilizado para essa operação é o filtro prensa, trabalhando com um eficiente sistema a vácuo (LOPES, 2011).

Quando a clarificação não é muito eficiente, devido aos efeitos da aplicação das etapas químicas ou da própria qualidade do caldo, pode-se observar uma variação no pH

nos compartimentos do decantador. Essa variação poderá ocasionar a inversão da sacarose, seguida da destruição dos açúcares redutores, formando ácidos orgânicos (LOPES, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar o efeito da adição de hidróxido de cálcio sobre a clarificação de amostras de caldo de cana, houve o controle do pH em 6,0 e 7,0 e posterior determinação da turbidez do caldo clarificado.

A leitura da turbidez dos caldos foi realizada em um turbidímetro de bancada microprocessado com capacidade de leitura de 0 a 1000 NTU.

O caldo foi extraído nas dependências do Laboratório de Biocombustíveis da Fatec de Araçatuba por um terno de moenda seguido de um peneiramento simples para a remoção de impurezas vegetais. Para simular as condições mais próximas ao encontrado nas indústrias sucroenergéticas foi adicionado 0,5% de impurezas minerais no caldo aquecido a 60°C sob agitação constante. Após 20 minutos nesta temperatura, foi retirada uma amostra de cada sistema para determinação da turbidez do caldo bruto e teor de sólidos solúveis (grau Brix). O resultado da turbidez foi expresso em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) conforme procedimentos do CTC (2005) bem como o grau Brix (°Bx).

Foi adicionado hidróxido de cálcio com concentração 2% (m/m), até pH 6,0, 6,5 e 7,0. Após a estabilização do pH, o sistema permaneceu com temperatura e agitação constante por 30 minutos para que as reações envolvidas na clarificação finalizassem. O caldo tratado foi transferido para as provetas em conjunto com 1,0 mL de polímero comercial para a decantação por 15 minutos. Após a decantação, foi realizada a determinação do °Bx e da turbidez do caldo clarificado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A adição de hidróxido de cálcio não alterou de maneira significativa o grau Brix do caldo bruto das amostras com maior valor do pH conforme resultados apresentados na Tabela 2.

A fim de permitir a comparação direta da turbidez do caldo bruto, foi realizada conforme CTC (2005) com a solução em concentração de 1°Bx. O aumento da adição de

hidróxido de cálcio na amostra 3, indica que além da neutralização do pH para evitar a inversão da sacarose, há uma redução na turbidez do caldo relacionada principalmente com a diminuição da cor dos cristais de sacarose produzidos.

Tabela 2. °Brix e turbidez do caldo bruto e do caldo clarificado.

Análise	Amostras Caldo Bruto			Amostras Caldo Clarificado		
	1	2	3	1	2	3
pH	6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0
°Bx	17,9	18,0	18,0	18,0	18,2	18,0
Turbidez (NTU)	45,9	45,6	42,7	67,4	28,8	9,0

Ao aumentar a adição de hidróxido de cálcio elevando o pH das amostras durante o tratamento, houve apenas a redução da turbidez do caldo clarificado.

O aumento do pH para 6,0 durante o tratamento de caldo indica a formação de sais em suspensão e da aglutinação de compostos orgânicos devido a conclusão das reações promovidos pela energia térmica recebida pelo caldo durante o aquecimento.

Com o aumento da adição de hidróxido de cálcio nas amostras 2 e 3, houve a formação de sais durante a calagem, que ao precipitarem promoveram a clarificação do caldo e por conseguinte, a diminuição da turbidez.

Deste modo a redução da turbidez no caldo clarificado está diretamente ligada ao aumento da adição da solução de hidróxido de cálcio. Mesmo aplicando o método da carbonatação, Hamerski (2009) também verificou que o aumento da redução da turbidez está ligado ao aumento do pH.

A formação dos sais insolúveis gerados nas etapas químicas contribui para o arraste das partículas em suspensão, proporcionando a diminuição da turbidez e resultando na diminuição da cor e do teor de resíduos insolúveis no açúcar produzido.

5. CONCLUSÕES

A redução da turbidez do caldo após a adição de hidróxido de cálcio, seguida do aquecimento e da decantação está diretamente ligada à remoção das impurezas presentes no caldo de cana. Com o aumento na quantidade de hidróxido de cálcio, há o aumento da geração de sais insolúveis em pH neutro que contribuem para o arraste de impurezas e redução da turbidez. Todas as etapas do tratamento do caldo devem ser executadas seguindo procedimentos pré-definidos para o atendimento das características do produto final comercializado. O bom e eficiente tratamento de caldo resultara em um clarificado com a turbidez dentro dos padrões exigidos (≤ 290 NTU), para a produção de açúcar com cor INCUMSA. Qualquer erro, seja ele operacional ou instrumental, acarretará em uma condição de anormalidade ao final do processo. Este controle é desejado nas indústrias que processam grandes quantidades de material e necessitam da formação de produtos que atendam as necessidades dos compradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIC. *Produção de cana-de-açúcar*. Disponível em:

<http://www.agric.com.br/producoes/cultivo_da_cana.html>. Acesso em: 11 mar. 2018.

ALBUQUERQUE, F. M. *Processo de fabricação do açúcar*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2009. 416 p.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. *Manual Controle Químico da Fabricação de Açúcar*. Piracicaba – SP, 2005.

GOMES, W. *Processo de tratamento de caldo em usinas sucroalcooleiras*. LinkedIn. 2016. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/processo-de-tratamento-caldo-em-usinas-wellington-gomes>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

HARRIS, D. C. *Análise Química Quantitativa*. Rio de Janeiro, LCT Editora, 2001. 862 p.

HAMERSKI, F. *Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar*. 2009. Curitiba. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Paraná.

LOPES, C. H. *Tecnologia de produção de açúcar de cana*. São Carlos: EdUFSCar, 2011. 183 p.

Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 94-104, jan./jun. 2018.

MACHADO, F. B. *A história da cana-de-açúcar: da antiguidade aos dias atuais*. UDOP. Disponível em: <<http://udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e bioetanol*. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-precos/producao-brasileira-de-cana-de-acucar-acucar-e-etanol.pdf/view>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

MARTINS, K.; FREITA, C.; SILVA, A.; ROVIERO, J.; IRENE, M.; MUTTON, M. Clarificação de caldo de cana com floculantes com floculantes para produção de açúcar. *Ciência & Tecnologia*. Fatec-JB, Jaboticabal, v. 8, p. 149-153, 2016.

OLIVEIRA, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA JÚNIOR. *Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2007.

PAYNE, J. H. *Operações unitárias na produção de açúcar de cana*. São Paulo: Nobel/STAB, 1990. 245 p.

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, p. 317-327, 2016.

VALE, M. C.; SANCHES, J. U. *Segurança e qualidade no processo industrial de açúcar*. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/seguranca-e-qualidade-no-processo-industrial-de-acucar/119302/>>. Acesso em: 04 mar. 2018.