

## COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE LIMPEZA DAS TUBULAÇÕES NO PROCESSO DA OBTENÇÃO DO AÇÚCAR

JESUS, Giulia da Silva<sup>1</sup>;  
HUNHOFF, Flaviane Eliza<sup>2</sup>;

### Resumo

Sabe-se que o açúcar é um produto muito antigo na linha do tempo das civilizações, obtido principalmente pela evaporação do caldo da cana-de-açúcar. Na história brasileira, o açúcar tem seu papel desde a época da colonização do país. Assim como os demais processos, a fabricação do açúcar tem evoluído com a tecnologia. Por isso, métodos cada vez mais práticos, eficazes, econômicos e seguros são buscados para atingir a excelência do produto e redução de custos na produção. Nesse contexto, o presente trabalho visa comparar os dois métodos mais utilizados para remoções de incrustações provenientes do processo de purificação e evaporação do caldo em tubulações de aparelhos de aquecimento e evaporação em usinas sucroenergéticas, considerando conceitos econômicos, ambientais e funcionais, o hidrojato e as rosetas metálicas. Ao fim desse estudo, espera-se obter um comparativo que indique qual o melhor método em quesitos quantitativos e qualitativos, ou seja, com menores custos e que também apresente eficácia e se englobe em termos de responsabilidade sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção de incrustações, Hidrojato, Roseta metálica.

### 1 Introdução

Geralmente, açúcares, no plural, é um termo abrangente utilizado para definir carboidratos cristalizados comestíveis, comumente para sacarose, lactose e frutose. No singular, é utilizado habitualmente para sacarose.

Sabe-se que a produção e o comércio de açúcar influenciariam fortemente a história, principalmente do Brasil desde seus primórdios na colonização e escravidão até os dias de hoje. Segundo Mintz (1986) a produção de açúcar teve alta influência até mesmo em processos migratórios e guerras.

Embora a influência desse produto aparentemente seja recente, a sua produção e consumo se estende a milhares de anos. Autores como Moxham (2001) e Rolph (1873) afirmam que a origem da cana-de-açúcar pertence à Índia. No entanto, era pouco utilizado e menos ainda acessível. Na maior parte do mundo, o mel era utilizado para adoçar os alimentos. Uma das primeiras menções à cana-de-açúcar, ainda segundo Rolph (1873), aparece em antigos manuscritos chineses com datas do século VIII antes de Cristo. Por volta dos anos 500 a.C, para um transporte e armazenamento mais prático, os cristais de

---

<sup>1</sup> Engenharia de Produção; UNIC, Tangará da Serra-MT; e-mail: giulian19eng@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheira de Produção; Prof.ª Orientadora, UNIC, Tangará da Serra-MT; e-mail: flavihunhoff@hotmail.com

açúcar eram produzidos em tamanhos grandes. Somente no século XIX que se desenvolveu o açúcar em cubos e granulado.

Saltando na linha do tempo e achegando-se ao contexto contemporâneo da produção de açúcar, os produtos provenientes da cana-de-açúcar já não se limitam apenas em cristais adocicados. A produção do etanol a partir do subproduto de um sobejo da produção do açúcar - o mel, a saber – e a produção de energia elétrica através do vapor gerado pela queima do bagaço, são evoluções dentro do mix de produção que mostram o quão necessário é desenvolver tecnologias e métodos que usufruam da matéria prima como um todo, sem desperdícios e com processos otimizados.

Isto está mais que claro: desperdício zero é uma das ferramentas mais faladas e, com certeza, um dos objetivos mais almejados em qualquer linha de produção. Logo, existe muito assunto sobre desperdícios a se tratar dentro do ramo sucroenergético. Aqui se abre a primeira janela para esse estudo, um dos bens mais preciosos dentro de uma usina sucroalcooleira é a energia que faz todo o conjunto de equipamentos funcionarem: o vapor.

É o vapor que faz as turbinas girarem gerando a energia mecânica responsável pelo funcionamento dos conjuntos de moenda. Da mesma forma, com o vapor se obtém a energia elétrica que mantém painéis de controle operantes. E o próprio vapor de escape (aquele que sai como sobra do outro lado de uma máquina) é utilizado para a troca de calor nos procedimentos de evaporação de caldo. Esse mesmo vapor, em algumas usinas, ainda é aproveitado para a cristalização e destilaria.

Nessas circunstâncias, é preciso prever que nenhum centímetro cúbico de vapor pode ser perdido nesse regime de etapas. O que pode ser concluído é que as tubulações que conduzem esse recurso precisam e devem funcionar em perfeitas condições operacionais e físicas.

O processo de produção em uma usina desse setor é de imensa complexidade e envolve etapas onde os procedimentos utilizados implicam reações químicas e físicas, em sua maior parte. Com o intuito de afunilar o tema, a etapa do processo produtivo a ser estudado nesse documento será o tratamento de caldo, onde o caldo extraído da cana na moenda passa pelo estágio de purificação e concentração de sacarose. Especificamente a evaporação.

Os aparelhos de evaporação dispõem de tubulações que conduzem o vapor e também o caldo, separadamente. Através da indução, é feita a troca de calor entre o caldo e o vapor.

É possível concluir que esses dutos que conduzem o caldo acumulam sujeira e incrustações, que no final acabam dificultando e até impossibilitando que haja a troca de calor. Dessa forma, o processo acaba sendo mais longo ou ineficiente.

Agora, abre-se mais uma janela desse estudo: a manutenção de tubulações através da limpeza rotineira de calandras. Essa limpeza é, na maior parte dos casos, realizada por empresas de serviço terceirizado.

Com essas duas ramificações, é permissível dizer que o objetivo desse documento é comparar os dois métodos mais utilizados para limpeza de tubulações em usinas sucroenergéticas – rosetas metálicas e hidrojetos – considerando conceitos econômicos, ambientais e funcionais.

Esses métodos de limpeza são atividades, na maioria das vezes realizadas por empresas terceirizadas que tem por objetivo desobstruir tubos de trocadores de calor através do emprego de força física podendo ser por rosetas metálicas, hidrojetamento, emissão de ondas sonoras ou por reações químicas com o uso de soda cáustica, por exemplo. A escolha dos dois métodos citados foi por conta de serem os mais utilizados e os que apresentam melhores resultados.

Ao fim do trabalho, espera-se demonstrar resultados que apontem qual o melhor método e tornar esse o primeiro trabalho científico com o intuito central voltado para o tema proposto.

## **2 Materiais e métodos**

Trata-se de uma pesquisa exploratória, pois este tipo de pesquisa é recomendado quando o tema escolhido não é muito explorado, dificultando a formulação de hipóteses precisas (Fregoneze et al, 2014). Inicialmente, o processo de evaporação do caldo e os métodos de limpeza foram observados durante o período de 150h (cento e cinquenta horas) de estágio supervisionado em uma usina do ramo sucroenergético. Posteriormente, foram feitas pesquisas bibliográficas com o intuito de investir fundamentações teóricas ao trabalho. A grosso modo, quase todo conteúdo referente ao processo de tratamento e evaporação do caldo é proveniente das informações observadas e recolhidas durante o período de estágio. No entanto, vale lembrar que não se trata de um estudo de caso dentro dessa organização, mas sim uma comparação de métodos.

## **3 Tratamento de caldo e evaporação**

Para poder se contextualizar com o assunto, é necessário compreender o básico do processo de tratamento e evaporação do caldo de cana-de-açúcar. Ao sair da moenda o caldo é depositado em seus respectivos tanques: tanque de caldo primário ou de caldo secundário. A partir de então, começa o processo de tratamento e evaporação de caldo. O objetivo do tratamento do caldo é eliminar as impurezas presentes no caldo, provenientes do campo e do processo de moagem da cana. Também é o processo que eliminará os micro-organismos e bactérias. Já a parte de evaporação, como o nome já sugere, concentra a

presença dos açúcares no caldo através da evaporação da água nele. Os processos de tratamento e vaporização, junto com seus equipamentos são, respectivamente:

- Pré-aquecedor: O pré-aquecedor eleva a temperatura do caldo a 65° C, esse caldo vai se aquecendo durante o processo, no intuito de já prepará-lo para a evaporação;
- Sulfitação: Consiste em promover o contato do caldo com o gás sulfuroso (SO<sub>2</sub>) para sua absorção, tem por finalidade a redução do PH; diminuição da viscosidade; formação de complexos com açúcares redutores; preservação do caldo contra alguns organismos; prevenção do amarelamento do açúcar;
- Calagem: O sacarato de cálcio é obtido pela mistura de sacarose (xarope) e leite de Cal - Monossacarato de Cálcio. com a finalidade de Neutralizar a acidez do caldo, corrigindo o pH até o valor desejado; Reagir com ácidos orgânicos presentes no caldo; Precipitação dos coloides presentes no caldo; Floculação e arraste de partículas em suspensão;
- Aquecedor: O aquecimento é feito em trocadores de calor, do tipo Thermol, do tipo casco e tubos vertical e trocadores de placas (reaquecedor). Tem as funções de Acelerar as reações químicas; Facilitar as reações do caldo; Promover a coagulação das proteínas; Diminuir a densidade e viscosidade; Provocar a floculação; Eliminar e impedir o desenvolvimento de bactérias;
- Balão de Flash: Tem a função de eliminar bolhas de ar existentes no caldo e diminuir a velocidade do fluxo de entrada de caldo nos decantadores, fatores estes que prejudicam uma boa decantação;
- Decantador: A decantação Consiste na remoção de impurezas, das quais deverão ser separadas do caldo pelo processo de decantação, as partículas mais densas que o caldo se concentraram no fundo. No decantador, é adicionador um polímero que tem a função de unir as Promove a aglomeração dos flocos; O aumento da velocidade de sedimentação; A compactação e redução do volume do lodo; A diminuição da turbidez do caldo clarificado; Menor perda de sacarose na torta;
- Filtro Rotativo: O filtro rotativo tem finalidade de separar a torta do caldo, através da lavagem do lodo obtido na decantação. Assim, haverá maior aproveitamento da sacarose. A torta obtida nesse processo é utilizada como adubo no campo;
- Pré-evaporador: O pré-evaporador tem a finalidade de elevar a temperatura do caldo com intuito de iniciar o processo de evaporação. A temperatura mínima é de 110 °C, essa temperatura se encarregará de eliminar todos micro-organismos presentes no caldo;
- Caixa de Evaporação: Com a finalidade de evaporar a água presente no caldo concentrando os açúcares presentes através da troca de calor. O caldo entra no pré-

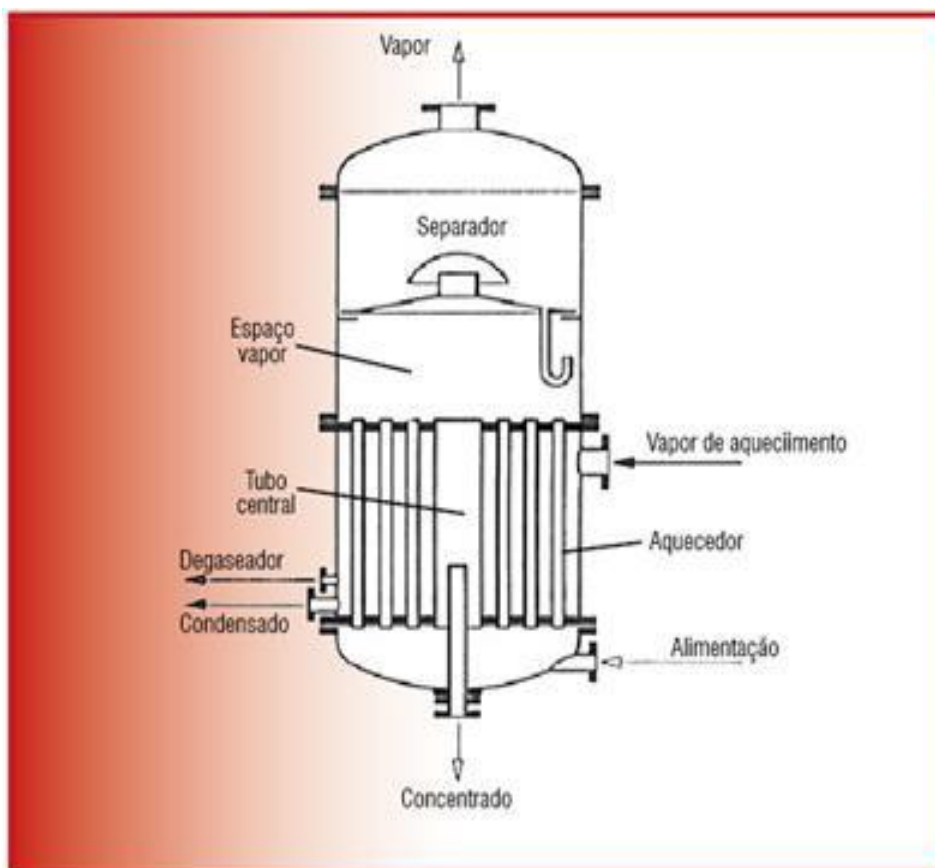
evaporador com cerca de 16% de BRIX (concentração de sacarose no caldo) passa por 5 etapas de evaporação e, agora com outro nome, o xarope tem 65% de BRIX;

- Flotador: O flotador tem quase o mesmo princípio do decantador. Entretanto, agora as partículas indesejadas tem a densidade menor que do xarope. Então o polímero é adicionado para juntar essas partículas e eliminá-las através de peneiras; e
- O painel de controle: Que é manipulado por um operador devidamente qualificado para a tarefa. É através desse painel que bombas, válvulas e níveis são controlados.

### 3.1 Estrutura de equipamentos de aquecimento e evaporação

Esses equipamentos se tratam de complexos trocadores de calor, onde a fonte de calor é proveniente do vapor de água. Fundamentalmente, eles são formados por um corpo cilíndrico com feixes de tubos, podendo ser verticais ou horizontais, geralmente de aço inoxidável ou cobre, entre dois espelhos na parte inferior. O vapor transita por fora dos tubos, nos espelhos. E o caldo mantém seu fluxo no interior dos tubos. É exatamente nesses tubos onde as incrustações se acumulam e, assim, se torna necessário a manutenção periódica através de métodos de limpeza. Segue imagem ilustrativa de um equipamento de evaporação:

Figura 1 - Evaporador



Fonte (MENDRONE 2012)

#### 4 Incrustações

Essas incrustações são advindas do melaço da cana, que contém em seu meio, algumas substâncias sólidas dissolvidas e que devido à troca de temperatura e inúmeros fatores químicos e físicos, depositam-se nas paredes da tubulação e assim se tornam insolúveis. FERREIRA (2013) classifica as causas desse processo em seis categorias: precipitação; particulação; corrosão; biológica; solidificação e reação química.

A composição dessas incrustações varia, de usina para usina. Na maioria das vezes, é encontrado na composição dessas incrustações o cálcio. Segue abaixo os principais compostos que formam tais incrustações:

- Carbonato de Cálcio  $\text{CaCO}_3$ ;
- Oxalato de Cálcio  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ;
- Hidróxido de Magnésio  $\text{Mg(OH)}_2$ ;
- Silicato de Cálcio  $\text{CaSiO}_3$ ;
- Silicato de Magnésio  $\text{MgSiO}_3$ ;
- Óxido de Ferro II  $\text{FeO}$ ; e
- Hidróxido de Zinco  $\text{Zn(OH)}_2$ .

As incrustações, quando não controladas, causam enormes prejuízos por serem capazes de obstruir um o tubo e as substâncias que compõe as incrustações têm um nível de condutividade térmica muito inferior ao nível das tubulações de metal. Isso diminui a capacidade do equipamento podendo até mesmo causar a expansão e rompimento de tubos.

Para o controle no acúmulo de incrustações e prevenção de futuros prejuízos, é efetuada a manutenção periódica dessas tubulações. Por se tratar de substâncias insolúveis, a maneira mais comum de remoção de incrustações é a aplicação de força mecânica, ou seja, ação física. Existe também a limpeza química, porém, essa não proporciona resultados tão satisfatórios. Existem hoje diversas formas para limpeza de tubulações:

- Rosetas ou Raspadores;
- Soda Cáustica;
- Aparelhos de ionização do caldo;
- Hidrojateamento;
- Limpeza por onda sônica hidrocínética.

Como foi dito, esse documento visa comparar os dois métodos mais tradicionais para limpeza de tubulações, ou seja, o uso de rosetas metálicas e o hidrojateamento. Com

esse propósito, foram feitas pesquisas e levantaram-se, os dados necessários para fazer tal comparação.

## 5 Resultados

Dentro do objetivo proposto, os resultados obtidos foram suficientes para analisar os dois métodos de vários ângulos possíveis.

### 5.1 Rosetas

É um dos mais antigos métodos para a limpeza de tubos no setor álcool açucareira. Trata-se de rosetas rotativas metálicas, que são acionadas por cabos rotativos conectados a um motor elétrico. As rosetas removem as incrustações com a aplicação de uma força mecânica que é lançada contra as paredes das tubulações. Essa força centrífuga raspa as incrustações. É realizada com os tubos cheios de água para não provocar fogo. Em tubos comuns, as rotações do equipamento variam de 3500rpm a 4500rpm. O tempo médio gasto para a limpeza de cada equipamento (caixa de evaporação, pré – evaporadores, etc.) varia de quatro a seis horas. Equipamentos necessários:

- Motor rotativo de 1 a 5 cv;
- Cabo rotativo de 5 a 15 m;
- Roseta rotativa metálica.

É obrigatório que se trabalhe com voltagens inferiores a 24 volts.

Geralmente, a atividade de limpeza com rosetas é realizada em espaços confinados. Para realizar essa tarefa, é necessário passar por todas as inspeções obrigatórias para conseguir a permissão do serviço. Inspeções essas que obrigam que todas as válvulas de pressão, de vapor e de caldo estejam bloqueadas e com a identificação de que não devem ser abertas. Os funcionários devem ser treinados conforme a NR 33 (segurança em espaços confinados).

#### 5.1.1 Análise de custos

As informações na tabela a seguir (tabela 1) são preços das necessidades básicas para a utilização do método, que podem variar conforme o mercado, a manutenção pode oscilar conforme a necessidade, pois incidentes podem ocorrer e ser necessário a troca de equipamentos. As quantidades de equipamentos necessários variam conforme o contrato da indústria com a empresa terceirizada. Usou-se, então, uma média padrão.

Tabela 1 – Base de custos para limpeza com rosetas

COMPONENTES	DESCRIÇÃO	CUSTOS (em R\$)
	Instalações	

<b>Equipamentos</b>	12 Motores	R\$ 9.000,00
<b>Equipamentos</b>	12 Cabos	R\$ 11.000,00
<b>Equipamentos</b>	72 Raspadores	R\$ 4.000,00
<b>Treinamento NR 33</b>	Formação	R\$ 2.500,00
<b>Necessidades/safra</b>		
<b>Mão de Obra</b>	12 operadores e 1 líder	R\$ 180.000/safra
<b>Manutenção</b>	Motores, cabos, mola, pino, roseta.	R\$ 50.000,00/safra
<b>Treinamento NR 33</b>	Reciclagem	1.500,00/safra

---

Fonte (FERREIRA, 2013).

A soma dos custos de instalação é de aproximadamente vinte e seis mil reais. O custo de operação é de duzentos e trinta e um mil e quinhentos reais por safra.

### 5.1.2 Vantagens

- Baixo custo de instalação;
- Sem complexidade na operação.

### 5.1.3 Desvantagens

- Extrema necessidade de mão de obra;
- Necessidade de abrir o equipamento a cada manutenção;
- Desgastes nos tubos;
- Trabalho em espaços confinados;
- Alto custo de manutenção devido ao desgaste no equipamento;
- A qualidade do serviço depende do operador;
- Necessidade de instalações que garantam a segurança durante a operação.

## 5.2 Hidrojato

Trata-se de um método de limpeza através da força da água em alta pressão que é lançada contra a parede do tubo. Removendo as incrustações através da mecânica. Pode trabalhar com até 1000 bars. “O bar é uma unidade de pressão (símbolo: bar) e equivale a exatamente 100.000 Pa ( $10^5$  Pa). Este valor de pressão é muito próximo ao da pressão atmosférica padrão, que é definido como 101 325 Pa.” (WIKIPÉDIA). Equipamentos:

- Bomba Alta Pressão com regulador pressão pneumático;
- Bomba Booster com acionamento elétrico;
- Motor Elétrico 350 CV;
- Painel completo com Soft-Starter;
- Tanque intermediário 600 litros + filtro BAG;
- 15m de mangueira “3/4”, Pressão Max. 1.000 bar;

- 03 bicos rotativos T31 Pressão máxima 1.000 bar.

### 5.2.1 Análise de Custos

Assim como os dados apresentados sobre as rosetas, as informações na tabela a seguir (tabela 2) são preços das necessidades básicas para a utilização do método, que podem variar conforme o mercado, a manutenção pode oscilar conforme a necessidade, pois incidentes podem ocorrer e ser necessário a troca de equipamentos. As quantidades de equipamentos necessários variam conforme o contrato da indústria com a empresa terceirizada. Usou-se, então, uma média padrão.

Tabela 2 - Base de custos para limpeza com hidrojato

COMPONENTES	DESCRIÇÃO	CUSTOS (em R\$)
<b>Instalações do equipamento</b>		
<b>Equipamentos</b>	Bomba de alta pressão e acessórios	R\$ 300.000,00
<b>Treinamento NR 33</b>	Formação	R\$ 2.500,00
<b>Necessidade por mês</b>		
<b>Mão de Obra</b>	12 operadores e 1 líder	R\$ 180.00/safra
<b>Manutenção</b>	Bomba; mangueiras e bicos.	R\$ 80.000,00/ safra
<b>Treinamento</b>	Reciclagem	R\$ 1.500/ safra

Fonte (FERREIRA, 2013)

O custo de instalação é de trezentos e dois mil e quinhentos reais. O custo gasto por safra é de duzentos e sessenta e um mil e quinhentos reais.

### 5.2.2 Vantagens

- Boa eficiência de limpeza;
- Operação simples;
- Pouca manutenção dos itens Instalados;
- Pouco desgaste do tubo metálico;
- Controle da pressão da limpeza pela bomba;

### 5.2.3 Desvantagens

- Alta necessidade de mão de obra;
- Necessidade de abrir o equipamento a cada manutenção;
- Alto custo de instalação;
- Alto custo de manutenção por necessitar de alta pureza da água utilizada;
- Obrigatoriedade de instalações que garantam a segurança da operação.
- Trabalho em espaço confinado.

## 6 Conclusões

Os dados apresentados são oriundos de um levantamento feito em indústrias de pequeno porte, que produzem um volume de caldo por metro cúbico consideravelmente pequeno. É possível analisar, financeiramente, os dois métodos com base na junção das informações obtidas.

A instalação do método de limpeza por rosetas é significativamente mais barato do que o hidrojato, a manutenção e funcionamento do hidrojato também são superiores ao custo da roseta. Levantando os dados, constatou-se que o hidrojato necessita de aproximadamente R\$ 40.000,00 (quarenta mil reais) a mais por safra.

Porém, a técnica de hidrojateamento se destaca positivamente quando se analisa os métodos por meio de uma visão sustentável e com princípios voltados para certificações como a ISO 14000. O Hidrojato não causa dano algum ao meio ambiente, que não seja o uso de água, porém o desperdício é mínimo já que é possível tratar a água contaminada possibilitando que a mesma volte ao processo. O metal das rosetas não é degradável e necessitaria de um custo adicional para o devido descarte ou reciclagem do material.

Outro custo não incluso, e não muito previsível, é o custo de manutenção dos próprios tubos por desgaste. Isso novamente coloca o método de hidrojateamento à frente. Custos de tubulações desse caráter são variantes, entretanto, nada baratos. Sem contar que paradas para manutenção corretiva são mais dispendiosas que as paradas para manutenção programadas que ocorrem nas entressafras.

Pelo fato de a maioria das fábricas de açúcar optar por uma limpeza terceirizada, os custos de treinamento e aquisição de equipamento ficam à responsabilidade da prestadora de serviço, sendo possível, então haver negociações e barganhas no contrato. Assim, os altos custos podem ser contornados ou amenizados democraticamente.

Durante a elaboração deste trabalho, percebeu-se que não há bibliografias especificamente voltadas para ao assunto da importância da manutenção de tubulações de trocadores de calor através da limpeza programada, conseqüentemente, não há bibliografias a respeito dos métodos comparados. Isso permite deixar a sugestão para que esses temas sejam abordados em trabalhos futuros para que o assunto se torne mais fácil de se trabalhar e compreender.

## Referências

FERRERA, Nivaldo. Limpeza de Evaporação. Seminário brasileiro de agronegócio, 2013. Acesso em 01/05/2014. Disponível em <[http://www.stba.org.br/seminario\\_14sba/12\\_raizen\\_31.pdf](http://www.stba.org.br/seminario_14sba/12_raizen_31.pdf)>

MINTZ, Sidney W. Sweetness and Power: The Place of Sugar in Modern History. New York, Penguin, 1986.

MOXHAM, Roy. The Great Hedge of India. U.S.A, Carroll & Graf Publishers, 2001.

MENDRONE, N.A, SOUSA, W.F. Análise De Custos E Viabilidade Econômica De Usinas Sucoalcooleiras Com Diferentes Sistemas De Funcionamento Das Linhas De Evaporadores. Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo. São Paulo, SP, 2012.

ROLPH, George M. Something About Sugar: Its History, Growth, Manufacture And Distribution. San Francisco, J. J. Newbegin, 1917.

FREGONEZE et al. Metodologia Científica. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, 2014.