

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA ALTERAÇÃO DO MÉTODO DE LIMPEZA DE TANQUES DE EVAPORAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

Marina Mayor Musetti (Mackenzie)
m.marinamayor@gmail.com

Luciana Gomes Pedrosa (Mackenzie)
lucigpedrosa@gmail.com

Carlos Augusto Borin Belfiore (Mackenzie)
car71br@gmail.com

Virginia do Socorro Motta Aguiar (Mackenzie)
virginia-aguiar@uol.com.br



Fatores econômicos, ambientais e sociais têm feito da sustentabilidade - processos mais limpos, econômicos e menos nocivos ao meio ambiente e sociedade - um propósito em todos os campos de atuação. Este estudo busca avaliar a viabilidade da alteração do método de limpeza de tanques de evaporação de uma usina sucroalcooleira, visando uma produção mais limpa e sustentável. No processo produtivo sucroalcooleiro há uma etapa de limpeza nos tanques onde é evaporado o caldo da cana, cujo tratamento resultará em açúcar, álcool e energia elétrica. Nestes tanques evaporadores formam-se incrustações advindas do caldo que levam à perda de eficiência na quantidade de produtos finais oriundos do processo produtivo - açúcar, álcool e energia elétrica. A limpeza destas incrustações, na usina estudada, é realizada de forma mecânica por hidrojateamento dentro dos tanques, ou seja, em espaço confinado pelos trabalhadores. Além da utilização excessiva de recurso natural - água, trata-se de atividade com níveis de periculosidade altamente elevados. Desta forma, a pesquisa em questão propõe a substituição do método mecânico de limpeza pelo químico. Neste contexto, surge como alternativa o produto Alpha. Trata-se de uma solução de ácido fórmico (biodegradável) misturada a um inibidor e associada a uma solução alcalina. Esta solução química impõe a implementação de um sistema industrial específico, conhecido no setor sucroalcooleiro como CIP (clean in place), ou limpeza em circuito fechado. Através do presente estudo, concluiu-se que o método de limpeza químico traz como vantagens não oferecer riscos aos trabalhadores, reduzir a quantidade de água e reduzir o tempo de parada do processo de limpeza, acarretando maior capacidade produtiva.

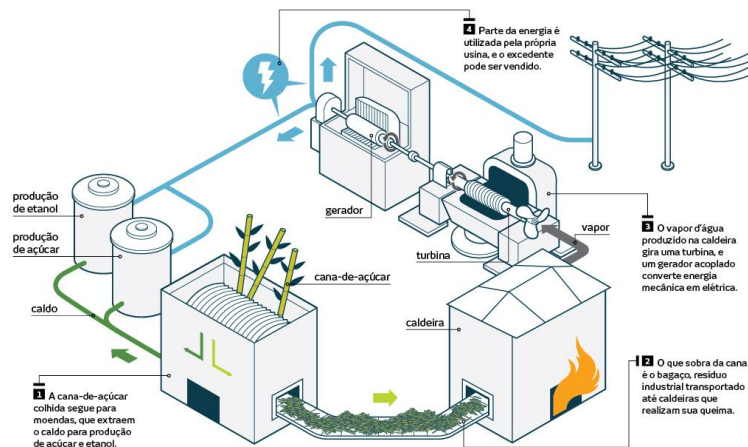
Palavras-chave: Indústria Sucroalcooleira; Evaporadores; Limpeza Mecânica; Limpeza Química; Sustentabilidade

1. Introdução

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira, tornando o Brasil o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol. A partir da cana, produz-se açúcar, álcoois combustíveis, industriais (etanol), aguardente e cera, entre outros. O bagaço proveniente da moagem da cana é também utilizado no processo produtivo, atuando como matéria prima para produção de energia (ALBUQUERQUE, 2005).

A produção de açúcar, álcool e energia nas usinas sucroalcooleiras (Desenho Esquemático 1) se inicia com a moagem da cana, que por sua vez é ramificada em dois processos distintos: o extrato do caldo para a produção de etanol e açúcar e a queima do bagaço para produção de vapor e energia.

Desenho Esquemático 1 – Processo de produção de açúcar, álcool e energia



Fonte: Galileu (2014)

A queima do bagaço nas caldeiras produz vapor de água que se expande em uma turbina a vapor de baixa pressão. O vapor produzido é utilizado para obtenção de energia térmica (geração de vapor, frio ou calor), mecânica (movimentação de máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica) e elétrica – conceito conhecido como cogeração, ou seja, transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil.

A energia gerada pela queima do bagaço, não apenas provê autossuficiência energética para a indústria, como também permite que a mesma venda parte da energia produzida às distribuidoras. A tendência mundial de se produzir energia limpa possibilitou a utilização da biomassa da cana como fonte de energia renovável, sendo a biomassa produção de energia a partir da decomposição de resíduos orgânicos.

Durante o processo produtivo, na etapa de evaporação do caldo, utiliza-se o vapor advindo da queima do bagaço para aquecimento dos evaporadores. Nesta etapa, formam-se na parede dos tanques incrustações oriundas do caldo da cana. Tais incrustações diminuem a eficiência da troca térmica com o vapor proveniente da queima do bagaço. Desta forma, são necessárias paradas periódicas para limpeza e manutenção. Estas paradas exigem tempo de *set up* do maquinário de forma que o método de limpeza escolhido interfere diretamente na produtividade (CANAL, 2014).

A limpeza destes tanques é realizada mecanicamente pela maioria das usinas do setor. Uma alternativa à substituição do método mecânico é o químico. Entre os benefícios da limpeza

química destacam-se a eliminação de trabalho em espaço confinado e a redução do uso de recursos naturais – água – no processo.

Frente à esta breve introdução, ressalta-se a relevância do estudo em questão: avaliar os possíveis benefícios econômicos, sociais e ambientais advindos da alteração do método de limpeza (mecânica versus química) de tanques de evaporação em uma usina sucroalcooleira. O enfoque se dá na substituição do material humano pela utilização de agentes químicos com propriedades biodegradáveis.

2. Metodologia

Este estudo trata-se de uma pesquisa aplicada quanto à natureza, exploratória quanto aos seus objetivos, e combinada quanto à forma de abordagem do problema. Com relação ao método, a pesquisa é classificada como um estudo de caso.

A pesquisa de natureza aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, seus resultados devem ser utilizados na solução de problemas que ocorrem na realidade. Quanto aos objetivos, a pesquisa exploratória, segundo Raupp e Beuren (2003), busca aprofundar os conhecimentos acerca de um tema do qual se tem conhecimento superficial. No que concerne à abordagem, a pesquisa combinada permite a compreensão de situações complexas que demandam ambos os tipos de análise – qualitativas e quantitativas.

Sabe-se que o primeiro passo de qualquer pesquisa científica, é a realização de uma pesquisa bibliográfica. Portanto, o Referencial Teórico consistiu em revisões da literatura sobre os temas mais importantes envolvidos nesta pesquisa, tais como o processo produtivo sucroalcooleiro e os conceitos teóricos que serviram de base a parte prática deste trabalho – o estudo de caso.

3. Referencial teórico

Conforme exposto anteriormente, uma das destinações do vapor gerado pela queima do bagaço é o aquecimento dos evaporadores, por meio de troca térmica. O aumento da temperatura no processo de evaporação do caldo da cana transforma sólidos solúveis em insolúveis, gerando incrustações no interior dos tanques. Tais incrustações diminuem o coeficiente de transferência de calor atuante e interferem diretamente na quantidade de vapor necessária para realizar a troca.

Dessa forma, percebe-se que a limpeza dos tanques é um procedimento essencial para a manutenção do bom funcionamento do processo produtivo sucroalcooleiro, colaborando para sua eficiência. Logo, os métodos de limpeza devem ser melhor observados, já que afetam diretamente a produtividade do setor.

Na grande maioria das indústrias sucroalcooleiras, esta limpeza é feita mecanicamente pela utilização de hidrojatos ou rosetas. Com relação ao hidrojateamento, cerca de três trabalhadores dão início à operação de limpeza em espaço confinado, que através da força proveniente da água em alta pressão remove as incrustações. Além do grande gasto com água tratada durante o procedimento, a limpeza mecânica apresenta riscos para os operários que a executam. Com a perda de controle no manuseio do hidrojato, há risco de acidentes que podem levar à perda de partes do corpo, ocasionada pela alta pressão da água (CASSOL, 2012).

Por se tratar de atividade em espaço confinado, é necessário seguir a norma regulamentadora NR 33 da portaria 32-14 de 8 de junho de 1978, **SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS**, que estabelece os requisitos mínimos para identificação de espaços confinados, bem como reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes, visando garantir permanentemente a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente nestes espaços.

Tendo em vista que a limpeza dos tanques é um procedimento necessário, mas que demanda tempo e traz riscos ao processo produtivo, as usinas vêm buscando alternativas para redução de riscos e aumento da produtividade. Existe, além da limpeza mecânica, a possibilidade de utilização de agentes químicos para a remoção das incrustações. A limpeza química, mais custosa, é utilizada como alternativa quando os sistemas mecânicos não promovem a remoção satisfatória das sujidades. Estudos recentes com soluções químicas e seus sistemas de aplicação se mostram satisfatórios nos resultados de eficácia, tanto de remoção das incrustações quanto nas baixas taxas de corrosão do sistema (TROCADORES DE CALOR, 2014).

A fim de que seja realizada a limpeza química, deve-se primeiramente identificar o tipo e a composição das incrustações formadas nas paredes dos tanques evaporadores. Para isso, amostras são retiradas em cada etapa do processo e em seguida são analisadas. Com base na caracterização dos elementos que compõem a incrustação é elaborado o plano de limpeza personalizado e específico para cada equipamento, levando em conta o tipo de agente químico e sua concentração na solução (TROCADORES DE CALOR, 2014).

O produto Alpha, proposta para limpeza química dos evaporadores é composto por ácido fórmico (biodegradável) e inibidor. Esse produto pode ser considerado como sustentável, tanto do ponto de vista ambiental, uma vez que reduz a quantidade de água e apresenta propriedades biodegradáveis, quanto do ponto de vista social, eliminando o trabalho em espaço confinado e reduzindo riscos à saúde do trabalhador. Ainda, o produto Alpha intenta reduzir o tempo de parada para limpeza, aumentar a eficiência no uso de vapor e aumentar a quantidade dos produtos finais – açúcar, álcool e energia. Busca-se pelo presente estudo questionar se a implementação do produto Alpha é também viável do ponto de vista econômico, correspondendo aos três conceitos que definem a sustentabilidade (*triple bottom line*).

4. O estudo de caso

4.1. Caracterização das empresas estudadas e coleta de dados

A Empresa A, multinacional alemã e líder mundial no segmento químico, foi fundada em 1865 para produzir corantes sintéticos para tecidos. Seu produto Alpha começou a ser comercializado em 2010, com a finalidade de limpeza química dos evaporadores em usinas do setor sucroalcooleiro.

Buscando coletar os dados relacionados ao produto Alpha, foi realizada uma visita presencial à Empresa A. Para a coleta dos dados utilizou-se um roteiro de questões de entrevista.

A Empresa B, familiar brasileira de segmento sucroalcooleiro, dispõe de duas usinas produtoras de açúcar, etanol e bioenergia. Começou suas operações em 1980 com a Usina X e em 2008 criou a Usina Y. Ao todo, 130 mil hectares de plantação processam 8 milhões de toneladas de cana. Aproximadamente 60% do caldo é destinado à produção de açúcar e 40% à produção de álcool.

Este estudo de caso analisa os processos da Usina Y, por ser a usina em que os pesquisadores puderam acompanhar com maior riqueza de detalhes o processo produtivo. Para esta Usina são colhidas em torno de 1.100 toneladas por hora, com cada hectare possuindo 112 toneladas de cana-de-açúcar. No total, 26,4 mil toneladas de cana são processadas por dia, sendo uma tonelada correspondente a 100 kg de açúcar e 75 litros de etanol.

Buscando observar todo o processo produtivo sucroalcooleiro, bem como a forma de limpeza utilizada em seus evaporadores, foi realizada uma visita presencial às usinas X e Y da Empresa B. Optou-se por utilizar como instrumentos de coleta de dados a observação direta estruturada e realização de entrevista não estruturada.

4.2. A limpeza nos tanques evaporadores da Usina Y

Considerando um cenário de operação em que não existam anomalias, não são realizadas paradas no processo somente para que seja feita limpeza dos evaporadores. Para tanto, esta é realizada de forma alternada, ou seja, enquanto um está parado para limpeza os outros estão em funcionamento. Em operação normal, são limpos na Usina Y um pré-evaporador e uma caixa por dia. Com isso, obtém-se uma periodicidade de 8 dias, isto é, o equipamento fica disponível 7/8 dias.

A fim de realizar a limpeza dos evaporadores, a usina deve ter o equipamento parado. Primeiramente retira-se todo o caldo de dentro do tanque (preparação) para este seja lavado com água quente, a fim de remover material que possa estar retido no equipamento (1ª lavagem). Subsequente, coloca-se água fria no interior do evaporador para resfriá-lo (2ª lavagem). A próxima etapa consiste na drenagem da água e abertura dos bocais com instalação de um exaustor para que o resfriamento seja completo e que os possíveis gases contidos no interior do equipamento sejam retirados, garantindo a circulação de oxigênio. Desta forma, obtém-se condições adequadas para trabalho em espaços confinados (NR 33). A limpeza em si consiste na entrada de operadores dentro do tanque, que por meio de hidrojateamento removem as incrustações advindas do caldo da cana. Na Usina Y, o tempo de indisponibilidade dos evaporadores para limpeza é de 24 horas, incluindo o tempo de parada, resfriamento e limpeza. A limpeza por hidro jateamento tem duração de 5 horas para os pré-evaporadores e 3,5 horas para os evaporadores.

São necessários 10 operadores e 1 líder para realizar a limpeza mecânica de cada evaporador, todos pertencentes à empresa terceirizada. A quantidade de mão-de-obra para esta tarefa se justifica pelo fato de ser uma atividade insalubre e desgastante, na qual é necessário o revezamento dos operadores. Existe também a possibilidade de que a limpeza de 2 evaporadores aconteça concomitantemente, desta forma os operadores se dividem para realizar ambas as limpezas. Normalmente, todos os operadores se destinam a fazer a limpeza do pré-evaporador na parte da manhã, por ele ser maior e também pelo fato de o dia ainda não apresentar temperaturas elevadas. Na parte da tarde, é realizada a limpeza do evaporador.

O Quadro 1 a seguir detalha os consumos de água por equipamento, conforme as três etapas do processo de limpeza mecânica.

Quadro 1 – Consumo de água no método de hidrojateamento adotado pela Usina Y

	Pré-evaporador	Evaporador
1ª Lavagem [m ³]	90,78	29,83
2ª Lavagem [m ³]	104,47	37,68
Hidrojateamento [m ³]	75,00	52,50
Total [m³]	270,25	120,01

Fonte: Autores (2015)

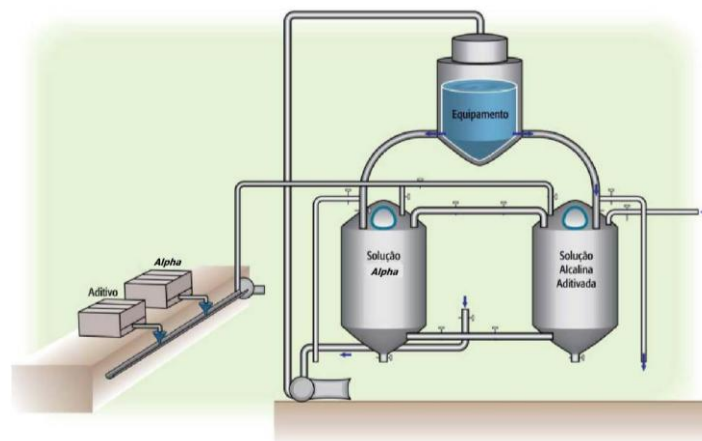
O serviço contratado inclui custo com mão-de-obra, todo o processo de limpeza dos evaporadores e aquecedores e a manutenção das bombas de hidrojateamento, as quais pertencem às respectivas usinas da Empresa B. Além do custo do contrato da empresa terceirizada, que gira em torno R\$ 70.000,00, existem as despesas com energia elétrica pelo funcionamento das bombas de hidrojateamento.

4.3. Proposta de implementação do produto Alpha

O produto Alpha surge como proposta para eliminação do trabalho em espaço confinado e limpeza total e efetiva dos evaporadores, resultando em maior performance do equipamento. O sistema, considerando *set up* adequado dos produtos ácido/álcali, é capaz de remover totalmente a incrustação, sendo homologado em testes de corrosão com diferentes tipos de aços. O produto Alpha é um ácido orgânico fraco e inibido (ácido fórmico), sendo uma solução biodegradável e reutilizável. Desta forma, não interfere no sistema de tratamento de efluentes, conforme registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Para que uma usina passe a utilizar o produto Alpha, são necessárias, do ponto de vista legal, licenças da polícia federal e civil. Do ponto de vista técnico, recomenda-se a instalação de CIP (*clean in place*), sistema de dispersão do produto com circulação dentro dos evaporadores (Desenho Esquemático 2).

Desenho Esquemático 2 – CIP (*clean in place*)



Fonte: Material Interno da Empresa A (2015)

A primeira etapa para implementação do sistema químico, consiste na realização de testes e validação da tecnologia na usina, conforme pontos a seguir:

- mapeamento e coleta de dados industriais da usina;
- coleta de amostra das incrustações para análise a ser realizada na Alemanha;

- c) apresentação dos resultados e sugestões;
- d) realização das instalações ou das adaptações necessárias;
- e) elaboração de um plano de trabalho, com cronograma e data de início para testes;
- f) validação dos ganhos em segurança e eficiência;
- g) implementação conjunta do novo sistema de limpeza química.

A fim de implementar o CIP, são necessários tanque para armazenamento do produto, tubulações de aproximadamente 95 metros de tubo de aço inox 304 com diâmetro de três polegadas, bomba de aço inox com vazão de 40m³/h, painel elétrico, cabos, válvulas, curvas, flanges e conexões.

Já o processo completo da limpeza química se dá em três etapas:

- a) circulação de solução alcalina no evaporador, para limpeza prévia e retirada dos resíduos do caldo;
- b) circulação do produto Alpha, para limpeza;
- c) circulação de água, para retirada final do produto Alpha.

Para a realização da limpeza, é necessário a presença de um operador, responsável pela preparação das soluções, controle da qualidade da limpeza, monitoramento da performance e controle de estoque dos produtos envolvidos. A limpeza química, considerando instalação do CIP, não expõe o operador ao produto e não oferece riscos à saúde humana.

O IBC (*Intermediate Bulk Container*), contentor intermédio para mercadorias a granel, ao chegar à usina, é conectado ao tanque principal (CIP), onde o produto fica armazenado. O *set up*, constituído de um sistema que oscila entre ácido/álcali, considera sequência, concentração, temperatura e tempo de circulação, sendo este desenvolvido na Alemanha com base na análise da incrustação de cada evaporador. Uma campanha para uma determinada usina pode conter mais de 1 *set up*, de maneira a manter os níveis de produção de vapor. A média de consumo dos insumos por limpeza de 1 equipamento, relatada através de estudos da empresa A, é de 60 kg para a solução alcalina e 1.650 kg para a solução ácida, produto Alpha.

O tempo para cada uma destas etapas será informado à usina após análise das incrustações. Porém, o que se tem observado é que o tempo médio total que o evaporador fica indisponível para limpeza é de 13 horas, sendo que a etapa a) discriminada acima tem duração média de 2 horas, a etapa b) de 5 horas e a etapa c) de 6 horas. Ressalta-se que na etapa c), o volume de água deve ser 60% do volume do equipamento, havendo quatro recirculações.

O intervalo para realização da limpeza está diretamente relacionado ao nível de geração de vapor que a usina almeja atingir, uma vez que após a limpeza, o processo já dá início à formação de incrustações. De maneira geral, usinas que utilizam o produto Alpha realizam a limpeza a cada 10 dias, tendo reduzido de 50% a 75% seu tempo de parada (campanha).

Com relação à eficiência, diz-se que o sistema é capaz de dissolver algumas substâncias e transformar outras em materiais que são fáceis de serem retidos em filtro. Não há geração de subprodutos gasosos que podem aumentar a pressão interna do evaporador. A limpeza química, feita com produtos inibidos, possui níveis bem baixos de desgaste das tubulações. Verificou-se em estudos realizados pela Empresa A que ao comparar ácido inibido e não

inibido em aço carbono, o desgaste dos tubos presentes nos tanques evaporadores foi mais de 300 vezes maior quando se utiliza um sistema sem inibidor, se comparado ao sistema inibido.

Por fim, no que tange à custos, a implementação do CIP gira em torno de R\$ 1.300.000,00. Já os custos dos insumos químicos são de R\$ 4,04 por kg para o produto Alpha e R\$ 20,20 por kg para a solução alcalina.

4.4. Apresentação, análise e comparação dos dados das duas formas de limpeza (mecânica versus química)

Com base no exposto neste estudo, apresenta-se no Quadro 2 a seguir dados relevantes para análise e posterior comparação das duas formas de limpeza (mecânica versus química).

Quadro 2 – Dados referentes às duas modalidades de limpeza

	Limpeza Mecânica atual	Limpeza Química proposta
Mão de Obra	10 operadores e 1 líder	1 operador
Quantidade de água por lavagem [m³]	Pré-evaporador: 270,00 m ³ Evaporador: 120,01 m ³	Pré-evaporador: 54,47 m ³ Evaporador: 17,90 m ³
Frequência de limpeza por evaporador	7 dias	10 dias
Tempos [h]	Pré-evaporadores: 5 horas Evaporadores: 3 horas Tempo total: 24 horas , incluindo o tempo de parada, resfriamento e limpeza.	Retirada dos resíduos do caldo: 2 horas Recirculação do ácido: 5 horas Tempo para retirada do ácido: 6 horas Tempo total: 13 horas
Custos envolvidos [R\$]	Custo mensal: R\$ 70.000,00	Custos de implementação do CIP: R\$ 1.300.000,00 Aquisição regular dos insumos químicos: Produto Alpha: R\$ 4,04 por kg Alcalino: R\$ 20,20 por kg
Resíduos	Água com impurezas advindas das incrustações	Água e solução ácida/álcali com propriedades biodegradáveis

Fonte: Autores (2015)

Com base nos tempos e frequências de ambas as limpezas (Quadro 2), considerando o funcionamento do evaporador em tempo integral durante 1 mês, sabe-se que no processo de limpeza mecânica, um evaporador é limpo 4 vezes ao mês. Logo, são dispendidas 96 horas mensais para limpeza mecânica de cada evaporador. Já para o processo de limpeza química, observa-se que um evaporador é limpo 3 vezes ao mês, sendo dispendidas 39 horas mensais.

Desta forma, considerando que em 1 mês o evaporador opera 24 horas por dia, tem-se ao total 720 horas mensais de operação. Deste total de horas, a limpeza mecânica ocupa 13% do tempo disponível total do evaporador, enquanto a química 5,4%. Logo, pela alteração do método de limpeza, haveria um aumento de 7,6 % do tempo de operação do evaporador.

No que diz ao aumento de energia elétrica excedente, não foi possível realizar cálculos conclusivos a respeito deste tema. Para tal, seriam necessários dados relativos à diminuição das incrustações por decorrência da limpeza química. Ou seja, deveria haver um período de testes com limpeza química na Usina Y, a fim de registrar a real eficiência da limpeza quanto à redução de incrustações e melhora no processo de troca térmica. No entanto, a realização dos testes implica na implementação imediata da automação do processo, através do CIP.

Com relação aos custos envolvidos, sabe-se que o custo mensal para manter as operações terceirizadas de limpeza mecânica na Usina Y gira em torno de R\$ 70.000,00, incluindo equipamentos e manutenção. Ao total, são realizadas 64 limpezas em um mês, com custo de R\$ 1.093,75 por limpeza. Para a limpeza química, de acordo com dados fornecidos pela Empresa A (Quadro 2), tem-se um gasto de R\$ 1.212,00 de solução alcalina e R\$ 6.666,00 de solução ácida por limpeza. Com isso, o custo dos insumos para limpeza química de 1 evaporador é de R\$ 7.878,00. Ao mês chega-se a um custo de R\$ 378.144,00, considerando 48 limpezas realizadas. Observa-se que o custo mensal gasto para a limpeza química, tendo-se por base o custo verificado no ano de 2015, foi 5,4 vezes maior que a da limpeza mecânica.

Outro fator importante a ser considerado é o humano. A alteração da limpeza mecânica pela química reduziria o total de operadores necessários, bem como eliminaria trabalho em espaço confinado, não oferecendo riscos ao trabalhador que a executa. Haveria ainda eliminação de acidentes de trabalho em espaço confinado, que implicam em elevados custos de indenizações trabalhistas às empresas.

Com relação à análise ambiental, os dados relativos à quantidade de água utilizada por limpeza (Quadro 2) permitem afirmar que por meio da alteração do método mecânico pelo químico, há redução de 80% na quantidade de água utilizada na limpeza de 1 tanque pré-evaporador e 85% na quantidade de água utilizada na limpeza de 1 tanque evaporador. Quanto aos resíduos, a limpeza mecânica da usina analisada gera água residual misturada às impurezas advindas das incrustações do caldo. Já a limpeza química, gera ao final do processo de limpeza água residual misturada com solução ácida/álcali, cujas propriedades são biodegradáveis. A mistura de solução alcalina com solução ácida (biodegradável) reduz o pH da solução, não apresentando riscos de contaminação e impacto ao meio ambiente.

O quadro 3 a seguir sintetiza os pontos levantados nesta análise e comparação de ambas as formas de limpeza.

Quadro 3 – Síntese dos resultados

	Limpeza Mecânica atual	Limpeza Química proposta	Análise
Produtividade *Evaporador: 720 horas mensais de operação	1 equipamento é limpo 4 vezes ao mês (96 horas mensais) 13% do tempo disponível total do evaporador	1 equipamento é limpo 3 vezes ao mês (39 horas mensais) 5,4% do tempo disponível total do evaporador	Aumento de 7,6 % do tempo de operação do evaporador
Custos envolvidos [R\$]	Total 64 limpezas; R\$ 1.093,75 por limpeza R\$ 70.000,00 / mês (empresa terceirizada)	R\$ 7.878,00 / evaporador; Total 48 limpezas R\$ 378.144,00 / mês	Limpeza química é 5,4 vezes mais cara *não considera investimento inicial
Mão de Obra	10 operários e 1 líder	1 operário	Eliminação de trabalho em espaço confinado (NR 33)
Quantidade de água por lavagem [m³]	Pré-evaporador: 270,25 Evaporador: 120,01	Pré-evaporador: 54,47 Evaporador: 17,90	Redução de gastos com água pela alteração de limpeza; Pré-evaporador: 80% Evaporador: 85%
Resíduos	Água residual misturada às impurezas advindas das incrustações do caldo	Água residual misturada com solução ácida/álcali (biodegradáveis)	Ambas as limpezas não trazem riscos ao meio ambiente

Fonte: Autores (2015)

5. Conclusão

O presente estudo buscou avaliar os benefícios econômicos, sociais e ambientais advindos da alteração do método de limpeza (mecânica versus química) de tanques de evaporação em uma usina sucroalcooleira.

Foi constatado que a alteração do método de limpeza mecânico para o químico, gera oportunidade de incremento de 7,6% no tempo de operação do evaporador, resultando em aumento da quantidade de caldo evaporado e consequente aumento da produção de açúcar e álcool ao final do processo. Ainda, a limpeza química gera ao final do processo resíduos biodegradáveis e consome entre 80% e 85% menos de água por limpeza, sendo visível o caráter ambiental desta substituição.

No que diz respeito aos ganhos sociais, a limpeza química elimina trabalho em espaço confinado. Esta mudança de cultura empresarial é vista como um avanço necessário pela qual a indústria sucroalcooleira deve se empenhar. O enfoque deve ser evitar acidentes e buscar eliminar a maior quantidade possível de riscos no processo produtivo. A alteração da forma de limpeza mecânica pela química permite atingir um ganho social advindo da redução de riscos e melhora nas condições de trabalho.

Com relação aos ganhos econômicos sucedidos da alteração da forma de limpeza, constatou-se que a limpeza química é 5,4 vezes mais cara do que a limpeza mecânica. No entanto, este custo é dissolvido pela diminuição do dano humano e ambiental, bem como pela eliminação de indenizações trabalhistas. Além destes fatores, há um potencial aumento na produção de açúcar, álcool e energia elétrica, que se traduzem igualmente em ganhos econômicos, os quais podem vir a pagar, a longo prazo, gastos com a implementação do CIP. Para uma análise mais assertiva, faz-se necessário um estudo sobre o balanço patrimonial da Empresa B, considerando custos totais de produção e custos de venda de seus produtos finais. Ressalta-se ainda que os custos atuais dos insumos químicos podem vir a sofrer queda a partir do aumento de demanda por limpeza química pelo setor sucroalcooleiro.

Por meio da alteração do método de limpeza, a Usina Y terá ganhos sociais, ambientais e econômicos. A limpeza química caracteriza-se como potencial método de limpeza a ser difundido e adotado pelas indústrias do setor, buscado uma produção mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Ademir Gonçalves. **Avaliação exegética dos efluentes do processo industrial do álcool**. 2005. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17052006-105609/>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

CANAL: O jornal da bioenergia. Goiânia, 31 out. 2014. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/sucroenergetico/usinas-limpeza-e-fundamental/>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

CASSOL, Rafael. **Análise e identificação de espaços confinados na unidade armazenadora de grãos da Cooperativa Agroindustrial Lar**. 2012. 70 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1743/1/MD_ENSEG_IV_2011_25.pdf>. Acesso em: 16 out. 2014.

GALILEU. São Paulo: Globo, 2014. Mensal. Disponível em:
<<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI326727-18537,00-PARTICIPACAO+DE+USINAS+DE+CANA+NA+GERACAO+DE+ENERGIA+DO+PAIS+PODERIA+SER+SE.html>>. Acesso em: 11 ago. 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 33** Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. Portaria MTE n. ° 202, 22 de dezembro de 2006. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A39E4F614013A0CC54B5B4E31/NR33%20\(Atualizada%202012\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A39E4F614013A0CC54B5B4E31/NR33%20(Atualizada%202012).pdf)>. Acesso em 09 out. 2014.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais.** In: BEUREN, Ilse Maria (Org.). Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2003. p. 76-97.

TROCADORES DE CALOR: Nichos de mercado e integração energética mantêm demanda ativa. São Paulo: Qd Ltda., ago. 2014. Mensal. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/pquimica/revistas/qd548/#/0>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção:** estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2012. Disponível em:
<http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.