

MODELOS A BAIXA VELOCIDADES DE ESCOAMENTO NA REMOÇÃO DE RESÍDUOS EM SISTEMAS DE LIMPEZA CLEAN-IN-PLACE

RUBENS GEDRAITE¹, RAFAELLA GAIÃO BRASILEIRO² e RODRIGO SISLIAN³

¹Dr. Prof. Ass. FEQ, UFU, Uberlândia-MG, rgedraite@ufu.br;

²Me. Pesquisadora FEQ, UFU, Uberlândia-MG, rafaellagaiiao@hotmail.com;

³Dr. Prof. Adj., IFSP, Guarulhos - SP, rodrigo@ifsp.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Neste trabalho é estudado o comportamento do processo de remoção de resíduo de leite aderido à superfície interna de um trecho reto de tubo considerando o emprego de baixas velocidades de escoamento da solução detergente alcalina formada por hidróxido de sódio a 0,5% em massa. A avaliação da cinética de remoção dos resíduos foi realizada com base em modelo matemático desenvolvido a partir de função de transferência. Os valores de velocidade de escoamento foram escolhidos com base em trabalhos publicados na literatura, que reportam o emprego de menores velocidades de escoamento associados com a aplicação de eletrolise no processo. O comportamento da cinética de remoção do resíduo de leite foi coerente com o publicado na literatura, apesar de apresentarem significativa variação entre os valores amostrados. Os valores de velocidade de escoamento estudados apresentaram pouca diferença entre si no processo de limpeza CIP. A remoção com velocidade de 0,5 m/s foi 10% mais rápida do que a de 0,2 m/s.

PALAVRAS-CHAVE: limpeza CIP, detergente alcalino, baixa velocidade, leite, modelo.

EVALUATION OF MODELS AT LOW FLOW RATES FOR THE REMOVAL OF MILK RESIDUES IN CLEAN-IN-PLACE CLEANING SYSTEMS

ABSTRACT: In this work, the behavior of the process of removing milk residue adhered to the internal surface of a pipe section is studied, considering the use of low flow rates of the alkaline detergent solution formed by 0,5% w/w sodium hydroxide. The evaluation of waste removal kinetics was performed based mathematical model developed from a transfer function. The flow velocity values were chosen based on works published in the literature, which report the use of lower flow velocities associated with the application of electrolysis in the process. The behavior of the kinetics of milk residue removal was consistent with that published in the literature, despite having significant variation between the sampled values. The flow velocity values studied showed little difference between them in the CIP cleaning process. Removal with a speed of 0.5 m/s was 10% faster than that of 0.2 m/s..

KEYWORDS: CIP cleaning, alkaline detergent, low speed, milk, model.

INTRODUÇÃO

Atualmente, diversas técnicas de preservação vêm sendo usadas para inibir ou eliminar transformações químicas, bioquímicas e biológicas prejudiciais à conservação de alimentos industrializados, em um contexto de significativo crescimento de produção destes produtos. Assim, torna-se essencial a preocupação com a preservação da qualidade destes itens. (Bansal; Chen, 2006).

Além da conservação do produto, muita atenção vem sendo dada à higienização das superfícies dos equipamentos utilizados na preparação dos alimentos para que não haja a proliferação de microrganismos, contaminação por produtos estranhos ao processo ou resíduos de processamentos anteriores (Andrade; Macedo, 1996).

Um dos processos mais comumente utilizados para a finalidade de higienização de equipamentos consiste na limpeza *Clean-In-Place* (CIP), pois permite que o procedimento seja realizado sem a necessidade de desmontagem dos equipamentos. (Fryer et al, 2006).

A quantidade de água gasta nos processos de limpeza, em especial nos processos *Clean-In-Place* (CIP), vem aumentando muito a cada ano, em decorrência da intensificação da produção de alimentos. Por se tratar de tema definido pelos órgãos de vigilância sanitária, não são poupados esforços para assegurar que o processo de limpeza dos equipamentos seja adequado e aderente ao estabelecido na legislação em vigor. Entretanto, este fato tradicionalmente implica na utilização, por parte da comunidade industrial, de maior quantidade de insumos do que aqueles que seriam necessários e tecnicamente suficientes para atender aos requisitos técnicos estabelecidos nas leis aplicáveis (Brasileiro, 2020).

O contato dos alimentos com superfícies mal higienizadas pode aumentar a incidência de microrganismos prejudicando sua qualidade e elevando os riscos aos quais os consumidores estão expostos. A presença de resíduos também ocasiona problemas operacionais em equipamentos, como, por exemplo, trocadores de calor, pois acarreta queda dos rendimentos nas trocas térmicas e aumento de perda de carga do sistema. Esses fatores são suficientes para justificar a importância da execução de um correto plano de higienização dos insumos utilizados no processamento de alimentos.

Por serem procedimentos que requerem paradas de produção, os processos de higienização, muitas vezes, são realizados de forma negligenciada pelas empresas. Portanto, é de fundamental importância que sejam estudados e otimizados, através do estabelecimento das cinéticas de remoção de resíduos de cada etapa do processo (Marriot, 1994).

O estabelecimento do tempo adequado ao processo de higienização é fundamental para a eficiência do processo. Deve ser suficientemente longo para que as reações químicas e as interações físicas ocorram a contento; mas não deve ser excessivo, pois reduziria a produtividade da indústria (Gedraite, 2010).

Um processo de higienização é composto pelas seguintes etapas: pré-lavagem, circulação de solução detergente, enxágue e circulação de solução com ação antimicrobiana (sanificante). As etapas estudadas serão: aplicação de solução do detergente e o enxágue. A primeira consiste na ação do detergente sobre os resíduos para que estes sejam removidos da superfície dos equipamentos. O enxágue se caracteriza pela passagem de água no equipamento com função de remoção do detergente químico utilizado e dos resíduos deslocados por ele.

Dois parâmetros envolvidos nestes processos merecem ser estudados com mais detalhes, a saber: (i)- a vazão de escoamento e (ii)- a temperatura. O primeiro está relacionado com a ação cisalhante proporcionada pela solução de detergente e água de enxágue sobre a superfície, enquanto o segundo permite melhor solubilização dos resíduos, facilitando sua remoção.

Em um processo CIP, o tempo de escoamento das soluções, em cada etapa do processo de higienização, é o parâmetro de maior facilidade de manipulação e, por isso, o fator preferido de redução. Porém, se alterado de forma não criteriosa, pode ocasionar a não efetividade do processo (Gormezano, 2007).

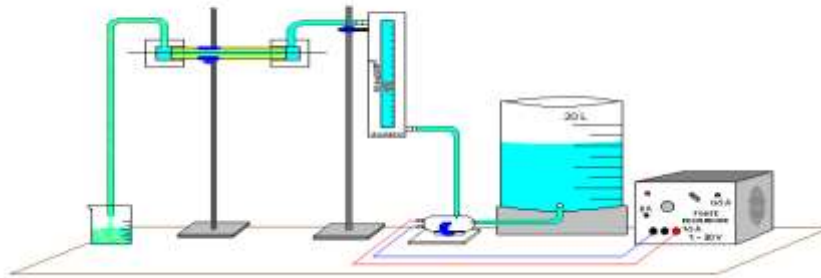
A prática de higienização de equipamentos pela indústria de alimentos baseia-se em experiências empíricas, deixando o setor à mercê de informações provenientes dos fornecedores de detergentes e sanitizantes. Parâmetros semiempíricos são adotados a partir de resultados de higienização considerados satisfatórios. A complexidade dos fenômenos existentes nas reações de remoção requer o aumento de trabalhos científicos que possam contribuir com os procedimentos adotados industrialmente (Bird; Barlett, 2005).

Neste trabalho é estudada a identificação de modelos matemáticos simplificados para valores baixos de velocidade de escoamento de solução detergente alcalina de hidróxido de sódio em uma seção de testes incrustada com resíduos de leite, visando avaliar o desempenho comparativo das cinéticas de remoção destes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os valores experimentais de concentração de resíduo de leite presente na solução efluente de detergente alcalino (solução de hidróxido de sódio) foram coletados, empregando a facilidade experimental mostrada na Figura 1.

Figura 1. Facilidade experimental usada



Foi considerado que o valor de velocidade de escoamento do fluido fosse igual ou superior àquela usada por Chen et al (2004), ou seja, 0,20 m/s. Uma vez estabelecido o valor da velocidade de escoamento do fluido de limpeza (detergente), a próxima etapa consistiu na preparação da solução de hidróxido de sódio que foi utilizada como detergente. Esta solução de NaOH foi preparada com concentração de 0,5 % em massa.

Considerando o fato de que não havia informações prévias sobre qual era o comprimento de onda no qual se verificava a maior absorção da radiação ultravioleta para o produto utilizado nos testes (solução de leite em pó), optou-se por proceder ao levantamento experimental deste comprimento de onda. Este procedimento consistiu na determinação da curva de absorbância em função da concentração de resíduos de leite na solução de hidróxido de sódio. Foram preparadas amostras de solução de NaOH contendo resíduos de leite nas seguintes composições: 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm e 100 ppm. Tomando-se por base a solução de hidróxido de sódio com 100 ppm de resíduos de leite, foi feita a análise da variação do índice de absorbância em função do comprimento de onda da radiação UV.

Utilizando-se amostras foi construída a curva de calibração, a partir da qual foi possível a determinação do comportamento da concentração de resíduos de leite em pó na solução detergente. Uma vez obtida a curva de calibração, usando um espectrofotômetro UV, foi possível avaliar os resultados obtidos nos ensaios de limpeza dos resíduos de leite aderidos à parede do tubo da seção de testes.

Os ensaios de limpeza realizados consistiram em fazer escoar a solução detergente através da seção de testes por um intervalo de tempo igual a 4 minutos, com velocidades de 0,20 m/s e 0,5 m/s. As amostras da solução efluente da seção de testes foram recolhidas de forma manual, com intervalo de tempo entre as coletas de amostras de 30 segundos.

Os modelos matemáticos aproximados das cinéticas de remoção dos resíduos foram identificados com base na metodologia proposta em Seborg et al (2011).

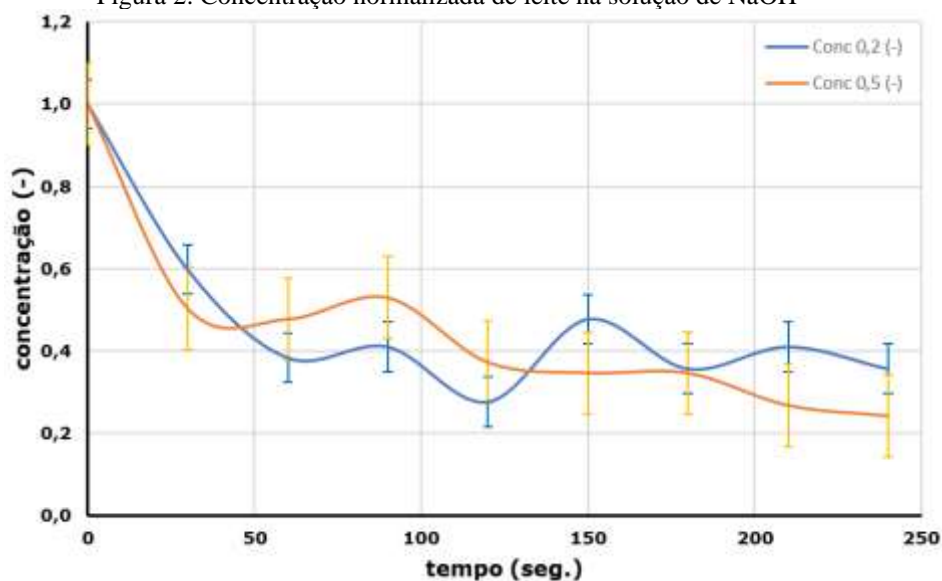
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Equação (1) permite calcular a concentração de resíduos de leite no detergente. Ela foi determinada considerando o comprimento de onda de 280 nm, por apresentar maior sensibilidade à análise. Ela relaciona a concentração de resíduos de leite com a absorbância obtida no espectrofotômetro.

$$C(t)[ppm] = 3333 \cdot Absorb(t) - 12,33 \quad (1)$$

A comparação do comportamento normalizado da cinética de remoção considerando os dois valores de vazão estudados é apresentada na Figura 2. Pode-se observar que as duas cinéticas de remoção apresentam comportamento muito próximo no que diz respeito à velocidade de decaimento da concentração nos trechos iniciais das curvas de concentração normalizada. Esta constatação permite inferir que os valores de velocidade utilizados apresentaram contribuição praticamente idêntica para a remoção dos resíduos, não sendo possível afirmar que um dos valores de velocidade estudados foi significativamente melhor. O emprego de modelo matemático permite avaliar melhor a diferença entre as condições estudadas.

Figura 2. Concentração normalizada de leite na solução de NaOH



O modelo matemático aproximado semiempírico identificado para a velocidade de escoamento igual a 0,2 m/s é apresentado na Equação (2) e o correspondente à velocidade de 0,5 m/s é apresentado na Equação (3).

$$\frac{C(s)[ppm]}{v(s)\left[\frac{m}{s}\right]} = \frac{-3,217}{33 \cdot s + 1} \quad (2)$$

$$\frac{C(s)[ppm]}{v(s)\left[\frac{m}{s}\right]} = \frac{-1,516}{30 \cdot s + 1} \quad (3)$$

O valor do parâmetro ganho (numerador) identificado para cada modelo representa o quanto a concentração normalizada varia por unidade de velocidade de escoamento. Em resumo, representa fisicamente a capacidade de remoção que a velocidade de escoamento é capaz de promover. De fato, os valores obtidos apresentam coerência com o esperado, pois o ganho encontrado para a condição de escoamento com velocidade igual a 0,5 m/s possui amplitude significativamente maior do que aquele encontrado para a condição de escoamento com velocidade igual a 0,2 m/s. Este resultado era esperado, haja vista o fato de que o escoamento com maior velocidade apresenta maior turbulência e, portanto, maior potencial para remover o resíduo de leite.

O valor do parâmetro constante de tempo identificado para cada modelo (coeficiente de s , no denominador) representa o tempo que a concentração normalizada leva para alcançar 63,2% da variação total para cada velocidade de escoamento testada. Em resumo, representa fisicamente o tempo de resposta da concentração para cada valor de velocidade de escoamento estudada. Os valores obtidos para estes parâmetros dos modelos indicam que as cinéticas de remoção tiveram velocidades de remoção próximas, o que era de se esperar, pois os valores das velocidades de escoamento da solução de NaOH foram pequenos e relativamente próximos. Contudo, a constante de tempo para a velocidade de escoamento igual a 0,5 m/s foi aproximadamente 10% maior do que aquela observada para a velocidade de escoamento igual a 0,2 m/s.

CONCLUSÃO

O emprego de valores baixos de velocidade mostrou que o comportamento da cinética de remoção não apresentou diferenças significativas, permitindo inferir que, sob o ponto de vista estatístico, os dois processos são praticamente idênticos. Os resultados obtidos neste trabalho se mostraram compatíveis com os publicados por pesquisadores que avaliaram o emprego de baixos valores de velocidade de escoamento. Deve ser destacado que os resultados obtidos apresentam elevada variabilidade nos valores de condutividade em decorrência da amostragem manual do processo, que não permitiu obter uma representação mais detalhada da cinética de remoção.

O emprego dos modelos matemáticos aproximados permitiu avaliar de maneira mais efetiva o comportamento de cada cinética de remoção de resíduos, contribuindo para estabelecer um possível indicador chave de performance a ser usado para fins de monitoração do desempenho do processo em tempo real.

Sob a ótica da economia de insumos no processo de limpeza CIP, seria mais interessante utilizar a menor velocidade de escoamento, a qual permitiria o emprego de menor volume de solução detergente alcalino em cada batelada realizada, favorecendo o seu reuso.

Um ponto que merece destaque diz respeito ao fato de que menores velocidades de escoamento implicam em maior tempo gasto no processo de limpeza. Assim, seria necessário avaliar o impacto do maior tempo de limpeza no custo operacional do processo de limpeza CIP.

AGRADECIMENTOS

À UFU pela flexibilização do uso dos laboratórios didáticos para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Andrade, N. J.; Macedo, J. A. B. Higienização na indústria de alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 182 p.
- Bansal, B.; Chen, X. D. A critical review of milk fouling in heat exchangers. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 5, n. 2, p. 27-33, abril 2006.
- Brasileiro, R.G. Estratégia de controle de sistema CIP baseada em múltiplos modelos. Uberlândia – MG: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2021. Mestrado.
- Fryer, P. J.; Christian, G. K.; Liu, W. How hygiene happens: physics and chemistry of cleaning. *International Journal of Dairy Technology*, v. 59, n. 2, p. 76-84, 2006.
- Gedraite, R.; Kunigk, L.; Ribeiro, S.; Melero Jr., V.; Vasconcelos, F.; Sislian, R. Experimental investigation about the milk protein-based deposit removal kinetics. In: World congress on communication and arts, WCCA, Guimaraes/Portugal, 2010. Anais do WCCA. Guimaraes 2010.
- Gormezano, L. Desenvolvimento e implementação de sistema para avaliar a cinética de remoção de resíduos presentes nos tubos de trocador de calor feixe tubular. São Caetano do Sul, SP: CEUN-IMT, 2007. Mestrado.
- Marriot, N. G. *Principles of Food Sanitation*. Springer Science + Business Media Inc, 416 p. New York-U.S.A., 1994.
- Seborg, D. E; Edgar, T. F; Mellichamp, D. A. *Process Dynamics and Control*. 2. ed. New Jersey: John Wiley, 2011