

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ESTUDO DA APLICAÇÃO DA ELETROFLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE LATICÍNIO

Mateus Erdmann Kühn¹; Jociane Krebs²; Rogério Marcos Dallago³

Resumo – A indústria de laticínios e derivados se encontra presente em quase a totalidade do território nacional. De acordo com estudos conduzidos pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, os coeficientes de geração de efluente por litro de leite processado podem chegar a mais de 4 litros com cargas médias de DQO entre 3600 e 22000 mg O₂/L⁻¹. Devido a estas flutuações de carga hidráulica e orgânica, os processos convencionais não são suficientes para atender a qualidade final desejada frente às exigências da legislação. Frente a isto, a eletrofloculação apresenta-se como uma alternativa em potencial para o tratamento deste tipo de efluente. Neste contexto foi desenvolvido este trabalho o qual tem como objetivos avaliar a potencialidade da eletrofloculação no tratamento de efluentes de laticínios. Durante o estudo foram avaliadas as influências dos parâmetros operacionais pH inicial, afastamento de placas e tensão em relação a remoção de cor, turbidez e DQO, bem como a quantidade de alumínio residual no efluente tratado. Como resultados observou-se uma remoção significativa de todas as respostas avaliadas.

Abstract – The dairy industry and its products are present in almost the entire national territory. According to studies conducted by Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, the coefficients for generation effluent per liter of processed milk can reach more than 4 liters with average loads between 3,600 and 22,000 COD mg O₂ L⁻¹. Because of these fluctuations in hydraulic and organic loading, the conventional processes are not sufficient to meet the desired quality front to the demands of legislation. Facing this, the electroflotation presents as a potential alternative in the treatment of such effluent. In this context this work has been developed to assess the potential of electroflotation in the treatment of dairy effluent. The study evaluated the influences of operating parameters initial pH, removal of plates and tension on the removal of color, turbidity and COD and the amount of residual aluminum in treated effluent. As a result there was a significant removal of all responses evaluated.

Palavras-Chave – tratamento de efluentes, efluentes de laticínio, eletrofloculação.

¹Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, mateus.ekos@gmail.com.

²Graduanda em Química Industrial da Universidade Regional Integrada – Campus Erechim.

³Doutor em Saneamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor titular da Universidade Regional Integrada – Campus Erechim.

INTRODUÇÃO

Dentro do contexto sócio-econômico, a cadeia agroalimentar brasileira contribui de forma a gerar mão-de-obra local (próxima aos segmentos produtivos), gerando excedentes comercializáveis tanto em território nacional como internacional e garantindo renda a grande parcela da população.

Neste segmento destaca-se a importância das indústrias de laticínios. Além da importância nutricional do leite e produtos derivados, esta indústria vem mobilizando diversos setores da economia em torno de sua atividade, em todos os estados do Brasil onde está presente. No entanto, a atividade de industrialização do leite em derivados gera efluentes de alta carga orgânica, podendo caracterizar-se em um grave problema ambiental se não tratado eficientemente.

Para este fim, várias metodologias encontram-se disponíveis no mercado, como tratamentos biológicos baseados no emprego de lagoas de decantação (aeróbicas e facultativas) e tratamento químicos baseados no emprego de agentes floculantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, polieletrólitos, etc). Outros meios alternativos estão sendo investigados na literatura, apresentando resultados promissores. Neste contexto, este trabalho focou-se na eletrofloculação, como uma possível tecnologia para o tratamento de efluentes líquidos da indústria de laticínios.

METODOLOGIA

O efluente alvo do estudo foi coletado diretamente na tubulação de entrada da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios e transportado imediatamente ao laboratório para os ensaios experimentais.

As caracterizações e avaliações do efluente seguiram metodologia proposta pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – APHA (2005) e constantes na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas Empregadas.

Parâmetros	Técnica analítica
PH	Potenciométrico
DQO	Colorimétrico
Turbidez	Nefelométrico
Cor aparente	Colorimétrico
Cor verdadeira	Colorimétrico
Alumínio	Espectrometria de absorção atômica

O reator para eletrofloculação foi confeccionado com placas de alumínio de 2mm de espessura por 15 cm de altura e 7 cm de profundidade. Estas placas permaneceram dispostas em paralelo, com arranjo monopolar e afixadas em suporte de madeira. Utilizou-se fonte de alimentação elétrica de corrente e voltagem variáveis.

Visando a otimização do processo de eletrofloculação e a avaliação de quais fatores interferem sobre o mesmo, foi planejado, inicialmente, um delineamento fatorial completo 2^3 , apresentado na Tabela 2, envolvendo os fatores voltagem (mV), pH e distância entre os eletrodos, mantendo-se constantes o tempo de contato (30 min) e volume de efluente.

Tabela 2: Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial completo 2^3 .

Variáveis	Nível -1	Nível 0	Nível 1
Voltagem (mV)	5	7,5	10
pH	4	5,5	7
Distância entre placas (cm)	0,5	1,5	2,5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O efluente bruto foi caracterizado assim da chegada ao laboratório de análises físico-químicas. Os resultados da caracterização são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização do efluente bruto

Parâmetro	Resultados
pH	6,19
Turbidez (UNT)	2200
Cor aparente (mg/L^{-1} Pt-Co)	13100
Cor verdadeira (mg/L^{-1} Pt-Co)	3750
DQO (mg/L^{-1} O ₂)	4351,5

Procedeu-se com a execução do planejamento fatorial completo 2^3 (proposto durante a metodologia) e avaliado o parâmetro turbidez. Os resultados são expressos na Figura 1.

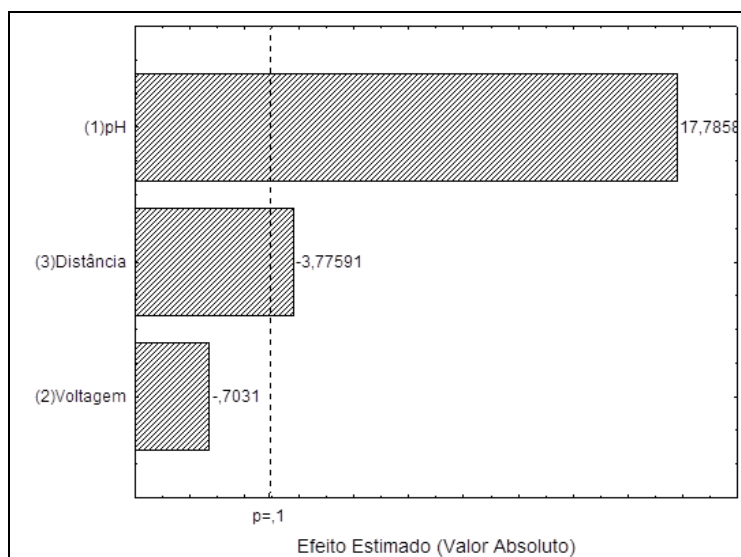


Figura 1 - Influência do pH, distância e voltagem sobre a remoção da turbidez

Foi observado que as variáveis pH e distância entre os eletrodos apresentaram efeitos significativos, com 90% de confiança ($p < 0,1$), sobre o tratamento. Para a variável pH o efeito observado foi positivo, enquanto que para a distância o efeito foi negativo.

O efeito apresentado pela variável pH está coerente com a faixa de pH estudada, $4 \leq \text{pH} \leq 7$. Se considerarmos a hidrólise do alumínio, observou-se que a região de pH ótima para formação dos flocos ($\text{Al}(\text{OH})_3$) encontra-se entre $6 \leq \text{pH} \leq 7$, conforme cita Crespilho e Rezende (2004). Para pHs menores que 6 acentua-se a tendência da formação de formas solúveis de Alumínio, como complexos ($[\text{Al}(\text{OH})_2]^+_{\text{aq}}$ e $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}_{\text{aq}}$) íons $\text{Al}^{3+}_{\text{aq}}$ solúveis, os quais apresentam reduzido poder de coagulação, ou seja, de remoção de cor e turbidez.

Já a redução da distância entre os eletrodos tende a minimizar o efeito de resistividade da solução em relação à passagem da corrente elétrica, promovendo o aumento da eficiência no processo.

Durante a realização dos testes, observou-se uma diminuição acentuada da turbidez nos primeiros minutos. Após 10 minutos, aparentemente, a turbidez do efluente não apresentou variações visuais significativas, que justificariam os 30 minutos de contato.

Neste contexto foi conduzido um ensaio empregando pH 6, distância entre eletrodos de 1,5 cm e ddp 5V, avaliando o tempo de contato (3, 5 e 10 minutos) em relação a remoção de cor, turbidez e DQO. Os resultados são apresentados na Figura 2 e 3.

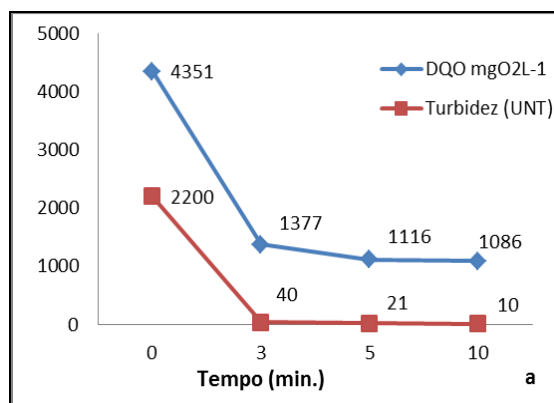


Figura 2 - Redução da DQO e turbidez

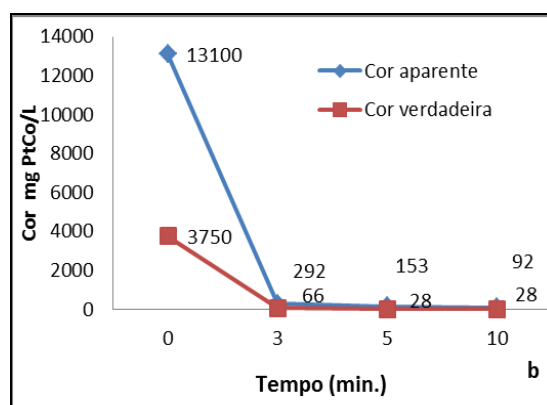


Figura 3 - Redução da cor aparente e verdadeira ao longo do tempo de reação.

É possível perceber que, logo nos três primeiros minutos iniciais, ocorre uma redução média de 98% nos valores referentes aos parâmetros turbidez, cor aparente e verdadeira. Com relação ao parâmetro DQO, é possível perceber uma alta remoção nos três primeiros minutos iniciais e consequente estabilização no restante do tempo de reação. Esta estabilização atribui-se a fração de DQO solúvel presente no meio, portanto, impossível de ser removida por processos físico-químicos ou eletroquímicos.

Posteriormente avaliou-se, o processo de tratamento com variações de ddp no processo empregando-se, valores de 2,5V, 5V, 7,5V e 10V. Os resultados são apresentados na Figura 4 e 5.

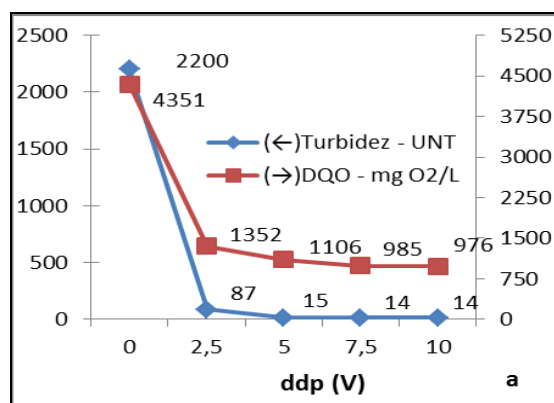


Figura 4 - Redução da DQO e turbidez em função da ddp aplicada

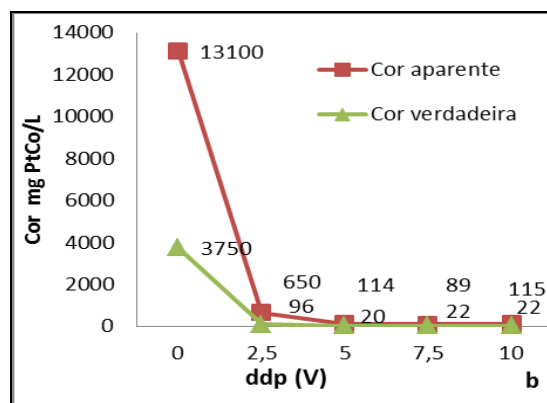


Figura 5 - Redução da cor aparente e verdadeira em função da ddp aplicada.

Observou-se significativa remoção a partir da aplicação de 2V e 5V. Embora a qualidade do tratamento melhore com ddp entre 7,5V e 10V, este aumento implica em aumento desnecessário do consumo de energia e desgaste das placas sem, no entanto, aumentar substancialmente a eficiência do tratamento.

O excessivo desgaste das placas, é outro fator que necessita ser controlado uma vez que o alumínio, liberado no efluente tratado, tem seu lançamento controlado em legislação. Efetuaram-se ensaios mantendo tempo de contato fixo em 10 minutos, espaçamento de 1,5 cm entre as placas e faixa de pH em 4,2, 6,2 e 8,2 unidades. Os resultados estão apresentados na Figura 6.

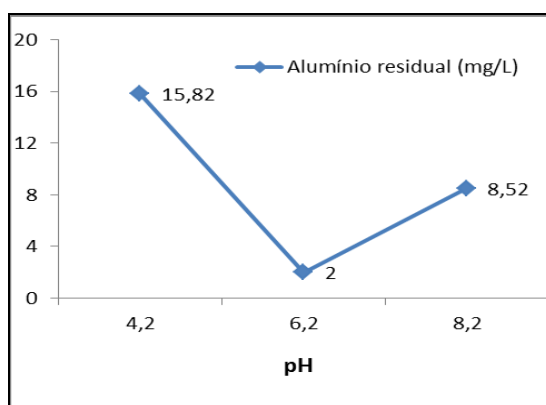


Figura 6 - Variação da concentração do alumínio residual no efluente tratado.

Isto por que em faixa de pH maior, ocorreu uma formação de complexos solúveis de alumínio, desestabilizando a floculação. Por sua vez, valores de pH baixos (< 5,5) conduzem à formação de íons Al^{3+} solúveis. A estes fatores vinculou-se os maiores valores de alumínio observados para as amostras ensaiadas com pH 4,2 e 8,2, em relação a conduzida em pH 6,2.

Uma das etapas envolvidas no processo de eletrofloculação, é a redução da água e formação de íons OH^- . O excesso destes acaba conduzindo a elevação do pH do meio, conforme Figura 7.

Além disso, ocorre a redução dos íons $H^+_{(aq)}$ e posterior liberação no meio sob a forma de hidrogênio molecular.

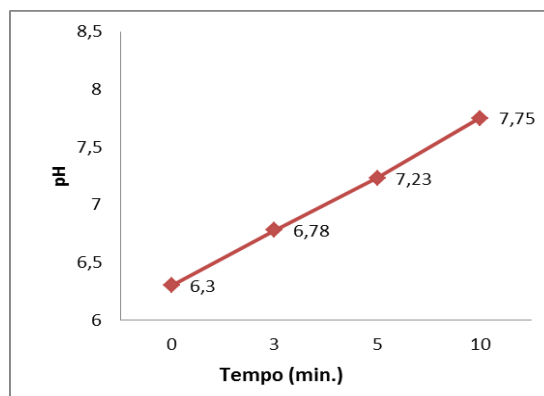


Figura 7 - Elevação do pH em função do tempo de eletrofloculação.

CONCLUSÕES

Os ensaios de eletrofloculação em batelada realizados em bancada apresentaram resultados satisfatórios para o tratamento de efluente bruto de indústrias de laticínios.

Com três minutos de contato e ddp de 5 V, conseguiu-se obter reduções acima de 99% para cor e turbidez. Já nesta mesma condição, a DQO obteve redução de 68%, de 4351 para 1377 mgL^{-1} O_2 .

Em relação ao alumínio residual, percebeu-se que em todos os tratamentos realizados, o valor final permaneceu acima dos limites estabelecidos pela resolução 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Mesmo fato observou-se para o valor final de DQO para com aos parâmetros estabelecidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM/RS.

Sendo que a eletrofloculação é um processo de geração de coagulante químico *in situ*, e que os processos de coagulação química são responsáveis somente pela remoção de compostos responsáveis pela DQO suspensa e coloidal (micropartículas, colóides, gorduras entre outros), não é possível a remoção por esse processo da DQO solúvel. A estabilização da redução da DQO demonstra a quase que total remoção dos compostos responsável pela DQO suspensa e coloidal, restando somente a DQO solúvel no meio.

Esta técnica pode ser utilizada eficientemente no tratamento primário de efluentes, auxiliando na remoção das altas cargas iniciais e conseqüentemente minimizando a carga residual para um tratamento secundário.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN Public Health Association, (2005). “*Standard Methods for the Examination of Dairy Products.*” 21.ed. Washington: APHA, 1180p.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. (2000) “*Pesquisa tecnológica para controle ambiental em pequenos e médios laticínios de Minas Gerais: medidas de gestão e controle ambiental.*” Belo Horizonte, 151p. (Relatório Técnico).

CRESPILHO, F. N, REZENDE, M. O. O. (2004). “*Eletroflotação: princípios e aplicações.*” Rima Editora, São Carlos – SP, 96 p.

FOSCHIERA, J. L. (2004) “*Indústria de laticínios: industrialização do leite, análises, produção de derivados.*” Suliani Editografia, Porto Alegre – RS, 88 p.

TCHOBANOGLOUS, G. BURTON, F. L. (2003) “*Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.*” 4rd, ed Singapore: McGraw-Hill, Metcalf & Eddy, 1819p.

SILVA, D. J. P. (2006). “*Diagnóstico do Consumo de Água e da Geração de Efluentes em uma Indústria de Laticínios e Desenvolvimento de um Sistema Multimídia de Apoio.*” Dissertação - Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SINOTI, A. L. L. (2005). “*Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo de sua aplicabilidade e mecanismos associados.*” Dissertação - Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília, Brasília.

PEREIRA, A. F. S. (2007). “*Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluentes da indústria têxtil.*” Dissertação - Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.