

Aplicação da eletrocoagulação para reúso de efluente na indústria de produção de eucalipto

Electrocoagulation application for reuse of wastewater industry production of eucalyptus

• **Data de entrada:**
29/12/2016

• **Data de aprovação:**
15/03/2019

Vanessa Biassio^{1*} | João Sinézio de Carvalho Campos¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.057>

ORCID ID

Biassio V  <https://orcid.org/0000-0002-1970-9752>

Campos JSC  <https://orcid.org/0000-0001-7731-6861>

Resumo

Este trabalho apresenta resultados da aplicação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluente gerado em viveiro florestal da indústria de produção de eucalipto. Os resultados referem-se às amostras do efluente coletadas no início e final de três tratamentos realizados ao longo de um ano, em que se analisaram os parâmetros de DBO, DQO, turbidez, pH e condutividade elétrica. Os resultados mostram redução de 80% em DBO, 95% em DQO, 99% em turbidez, indicando que a eletrocoagulação é uma excelente alternativa para o tratamento desse tipo de efluente e o torna adequado para reúso em irrigação. Houve redução de 16% em média na condutividade elétrica, indicando remoção de sais e metais. Em todos os efluentes tratados ocorreu aumento no valor do pH de 7 para 9. Cabe ressaltar que as placas utilizadas são de alumínio e o tempo de tratamento está ao redor de uma hora no máximo, tempo curto se comparado a tratamentos convencionais.

Palavras-chave: Eletrocoagulação. Tratamento de Efluente. Produção de Eucalipto.

Abstract

This assignment presents results in the electrocoagulation process in the effluents treatment generated in the eucalyptus seedling nursery production industry. The results refer to samples of the effluent collected in the beginning and the end of three treatments performed over one year, during which parameters of BOD5, COD, turbidity, pH and electric conductivity were analyzed. The results show 80% reduction in BOD5, 95% for COD and 99% in turbidity, thus indicating the electrocoagulation is an excellent alternative for the treatment of this type of effluent and adjusting the effluent for reuse in irrigation. There was an average reduction of 16% in the electric conductivity, indicating the removal of salts and metals. In all treated effluents there was an increase in the pH from 7 to 9. Note that the plates used are aluminum and that the treatment time is around an hour at most, short time compared to conventional treatments.

Keywords: *Electrocoagulation. Effluent Treatment. Eucalyptus Production.*

¹ Universidade Estadual de Campinas - Campinas - São Paulo - Brasil.

* **Autora correspondente:** vanessabiassio@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a utilização da água tem gerado mudanças de hábitos em diversos ambientes, especialmente na indústria, que, nas últimas décadas, tem modificado muitos processos para se adequarem às leis ambientais. Além disso, as mudanças climáticas e a escassez de recursos hídricos também têm contribuído para que formas alternativas de tratamento sejam testadas e aprimoradas (ANA, 2014).

Neste contexto, analisou-se o processo de eletrocoagulação como alternativa para o tratamento de efluente de viveiro florestal, visando melhorar as condições de reutilização do mesmo, proporcionando maior aproveitamento do recurso hídrico e dos insumos dissolvidos neste, mas principalmente minimizando os problemas ocasionados pelo reúso do efluente sem tratamento.

1.1 Efluente

O efluente proveniente de viveiros florestais é gerado em maior volume no processo de irriga-

ção, onde parte da água utilizada não é absorvida pela planta e, ao ser drenada, é captada por galerias e segue para tratamento ou reutilização. A reciclagem do efluente no processo de irrigação proporciona não só economia de água mas também o reaproveitamento dos fertilizantes nele dissolvidos. Contudo, a cada passagem pelo processo, mais resíduos (areia, folhas, partículas de substrato, argila) são arrastados com o efluente, tornando-o cada vez mais turvo, como mostra a Fig. 1. Ao reutilizar esse efluente, sem tratamento, para irrigação, ocorre o acúmulo de sólidos sobre as folhas, o que é prejudicial, pois resulta numa diminuição na área disponível para realização da fotossíntese, prejudicando o desenvolvimento das plantas (Fig. 2). Dessa forma, a aplicação de um tratamento que reduza a turbidez do efluente faz-se necessária para a garantia da qualidade e da viabilidade do processo, mesmo porque, nos períodos de estiagem, quando o efluente apresenta as piores condições, sua reutilização é ainda mais intensa e necessária.



Figura 1: Tanque de armazenamento de efluente para reutilização na irrigação



Figura 2: Folha de eucalipto contendo manchas causadas pela irrigação com efluente não tratado

Com base em trabalhos sobre tratamentos eletrolíticos desenvolvidos na Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), os quais mostraram excelentes resultados ao tratar efluentes de indústria têxtil (PEREIRA, 2007 e CAMBOIM, 2010) e de indústria de papel e celulose (FERREIRA, 2006), avaliaram-se as características do efluente de viveiro florestal, sendo estas bastante favoráveis para a aplicação da técnica da eletrocoagulação, principalmente devido à boa condutividade do efluente, ocasionada pela presença de sais fertilizantes, com valores entre 800 e 1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Além disso, a eletrocoagulação apresenta outras vantagens, como baixo custo de implantação, facilidade de operação, estabilidade dos coágulos formados, não adição de produtos químicos e menor tempo de retenção do efluente no reator, se comparado aos tratamentos convencionais como lodos ativados e sedimentação, para efluentes diversos, (CAMBOIM, 2010). Essas vantagens são extremamente importantes para viabilizar economicamente a implantação do tratamento em empresas de pequeno porte,

onde se enquadram a maioria dos viveiros florestais (SILVA et al., 2008).

Outros pontos relevantes para a aplicação de estudos sobre tratamento de efluentes de viveiro florestal são: o grande volume de água utilizado no processo (cerca de 10 milhões de litros d'água para cada 1 milhão de mudas produzidas); o baixo índice de reaproveitamento e tratamento do efluente – apenas 1/3 dos viveiros associados ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) trata o efluente, outro terço reutiliza e o restante faz estudo da viabilidade do tratamento – e, por fim, a escassez de informações sobre o desempenho de tratamentos alternativos, que se adequem às características desse tipo de indústria considerando sua sazonalidade e especificidade de seu efluente.

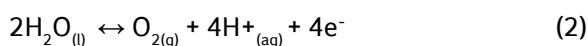
1.2 Tratamento eletrolítico

O tratamento eletrolítico foi patenteado em 1887 na Inglaterra. Desde então, vem passando por aperfeiçoamentos, os quais permitiram seu uso no tratamento de diversos efluentes. Estudos recentes mostram o bom desempenho da eletrocoagu-

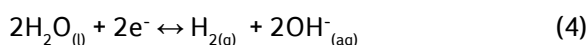
lação no tratamento de efluente de indústria têxtil (PEREIRA, 2007 e CAMBOIM, 2010), da indústria de papel e celulose (FERREIRA, 2006 e CERQUEIRA, 2006), da indústria alimentícia (ESFANDYARI et al., 2014, ARRAYA-FARIAS et al., 2007 e STULP et al., 2005), da indústria petrolífera (OLIVEIRA, 2012, IBRAHIM et al., 2013, SANTOS et al., 2007 e RAMALHO, 2008), de papel (SOLOMAN et al., 2009 e KALYANI et al. 2009), de lavanderias (WANG et al., 2009), de indústrias de usinagem (FOGO, 2008), na remoção de contaminantes (KHOSA et al., 2013 e MERZOUK et al., 2009), na remoção de flúor (ESSADKI et al., 2009), na remoção de fenol (GHERNAOUT et al., 2013) e no tratamento e desinfecção de efluentes urbanos (COTILLAS et al., 2014 e GHERNAOUT et al., 2008).

O princípio da eletrocoagulação consiste em aplicar uma corrente contínua, em eletrodos que se encontram submersos em uma solução condutora. A diferença de potencial entre os eletrodos ocasionará a dissociação dos íons presentes na água e a oxidação do ânodo, gerando íons metálicos, os quais serão responsáveis pela coagulação das partículas presentes no efluente a ser tratado, e a dissociação da água ocasionará a geração de gases responsáveis pela flotação das partículas coaguladas (FERREIRA, 2006). As reações que ocorrem no processo de eletroflotação quando utilizados eletrodos de alumínio estão listadas nas equações abaixo.

1.2.1 Reações no ânodo



1.2.2 Reações no cátodo:



Segundo CERQUEIRA (2006), o tratamento eletrolítico acontece em três etapas sucessivas. São elas a eletrocoagulação, a eletrofloculação e a eletroflotação, que são descritas a seguir.

1.2.3 Eletrocoagulação

Formação de um agente coagulante através da oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício (alumínio), ocasionando a neutralização das cargas superficiais, a desestabilização das partículas coloidais e a quebra de emulsões.

1.2.4 Eletrofloculação

Aglutinação das partículas desestabilizadas pelos hidróxidos de alumínio, que são coagulantes naturais, favorecendo a formação e o crescimento dos flocos.

1.2.5 Eletroflotação

Geração de microbolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo, que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidas pelos flocos, carregando por arraste as partículas e impurezas em suspensão no meio e promovendo dessa forma a clarificação do efluente.

1.3 Parâmetros

Dentre os parâmetros científicos para avaliar um efluente, o presente trabalho selecionou analisar a turbidez, a DBO_5 , a DQO, o pH e a condutividade elétrica. A seguir descrevem-se brevemente o significado de cada um desses parâmetros.

1.3.1 Turbidez

É a medida do espalhamento sofrido por um feixe de luz que incide na amostra, comparado ao espalhamento em uma solução padrão. Utiliza-se

para esta análise o aparelho chamado turbidímetro, e os valores obtidos são expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). A turbidez em fluidos é predominantemente causada pela presença de sólidos suspensos e partículas coloidais como plâncton, organismos microscópicos, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida (FERREIRA, 2006).

1.3.2 DBO_5

É a sigla do termo "Demanda Biológica de Oxigênio", que corresponde à medida do consumo de oxigênio devido à oxidação da matéria orgânica por meio de micro-organismos biológicos. A DBO pode ser sucedida pelo subíndice 5 ou 20, os quais referem-se à quantidade de dias de incubação da amostra para ação dos micro-organismos. Seus valores são expressos em $mg\ O_2\ L^{-1}$.

1.3.3 DQO

É a sigla do termo "Demanda Química de Oxigênio", que corresponde à medida do consumo de oxigênio devido à oxidação da matéria orgânica e alguns compostos inorgânicos por meio de fortes oxidantes químicos. Seus valores são expressos em $mg\ O_2\ L^{-1}$.

1.3.4 pH

É a sigla do termo "Potencial Hidrogeniônico". Sua medida é utilizada para classificar uma solução em ácida, neutra ou básica de acordo com a concentração de íons hidrogênio. A determinação do pH é feita eletrometricamente utilizando-se potenciômetro e eletrodos. Seu valor é expresso como cologarítmo decimal e corresponde à concentração de íons H^+ presentes na solução.

1.3.5 Condutividade elétrica

É a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica. Pode ser medida através do aparelho chamado condutivímetro, tem seu valor expresso em Scm^{-1} . Pode também ser calculada pela equação (5), abaixo:

$$k = R^{-1} \times A^{-1} = G \times c \quad (5)$$

Onde:

k = condutividade ($S\ cm^{-1}$)

R = resistência (Ω)

$G = R^{-1}$ = condutância (S)

l = comprimento do trajeto da medida (cm)

A = área seccional transversal (cm^2)

$c = A^{-1}$ = constante da célula (cm^{-1})

Assim, o presente trabalho traz os resultados obtidos no tratamento de efluente de viveiro florestal, composto por água de irrigação das plantas e águas de chuva (água pluvial), utilizando a técnica de eletrocoagulação, visando reduzir a turbidez e tornar o efluente adequado ao reúso.

2 METODOLOGIA

Utilizou-se para o tratamento um reator tipo batelada, com capacidade para 20 litros, sendo o equipamento constituído por eletrodos de alumínio (composto por dez placas planas retangulares com área de $140\ cm^2$ cada, com 2 cm de espaçamento entre elas e montadas em configuração colmeia, sendo cinco conectadas ao polo negativo e as outras cinco ao polo positivo da fonte de tensão), fonte com tensão (13,6 V), controlador de corrente e medidor de corrente (multímetro Minipa ET321). A confecção do reator (eletrodos, fonte de corrente, controlador de corrente) e implementação do processo foi efetuada pelo Grupo FisPol/DEMBio/FEQ/Unicamp. Na Fig. 3 o item (a) traz um diagrama da montagem e o item (b) apresenta uma foto do reator mostrando a disposição dos equipamentos para o tratamento.

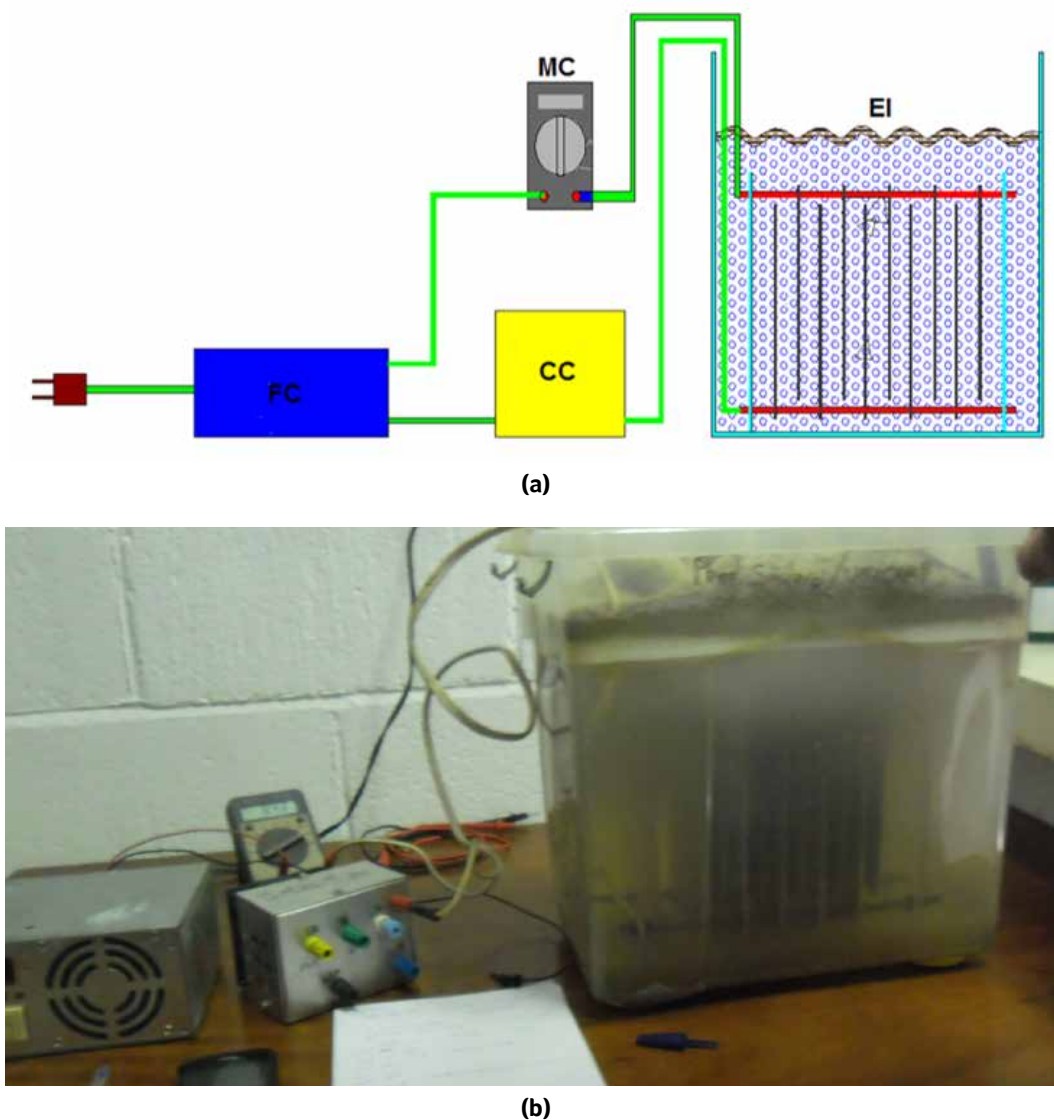


Figura 3: (a) Diagrama do reator com seus acessórios: fonte de corrente (FC), controlador de corrente (CC), medidor de corrente (MC), cuba contendo os eletrodos (EI) de placas metálicas (alumínio) e em (b) foto do reator contendo efluente ao final do tratamento

O efluente foi coletado diretamente dos tanques de armazenamento da empresa (Fig. 1) em diferentes épocas do ano (maio, setembro e novembro) para que a variação da pluviosidade fosse considerada; em seguida foi acondicionado em embalagens de polietileno com tampa, mantidas em temperatura ambiente até o dia seguinte.

Homogeneizaram-se manualmente os efluentes antes de serem transferidos para o reator e em seguida retirou-se uma amostra de 1,5 l do efluente

bruto para análises, sendo o restante do efluente (cerca de 20 litros) mantido no reator. O efluente permaneceu em tratamento por aproximadamente 55 min, ao final do qual observou-se (olho nu) aspecto transparente do efluente com acúmulo de bolhas e sólidos na superfície (sobrenadante) e flocos com aspectos gelatinosos no fundo do reator (precipitado). Ao término do tratamento (55 min), coletou-se 1,5 l do efluente tratado pela parte central do reator para realização das análises.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, para análises dos seguintes parâmetros: DBO₅, DQO, turbidez, pH e condutividade elétrica, utilizando como referência o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, métodos 5210, 5220, 2130, 2310, 2510, respectivamente (APHA, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Considerações sobre a caracterização do efluente

Devido aos ensaios de tratamentos terem sido realizados com efluentes coletados em diferentes épocas do ano de 2014, especificamente nos meses de maio, setembro e novembro, houve va-

riações, já esperadas, nos parâmetros analisados para o efluente sem tratamento (bruto). É bem conhecido que a composição do efluente sofre variação durante o ano em função da precipitação como também pela dosagem de fertilizantes nas águas de irrigação, drenagem e limpeza das galerias coletoras de efluente, conservação dos pátios por onde a água de irrigação escorre até chegar às galerias, entre outros. De todos os fatores citados, a precipitação é o que mais interfere na turbidez e condutividade do efluente. Portanto, a precipitação anterior ao período da coleta do efluente (Fig. 4) explica as variações dos parâmetros do efluente bruto. Os dados de precipitação dos meses de abril a dezembro de 2014, para a região de Sorocaba, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014) estão apresentados na Fig. 4.

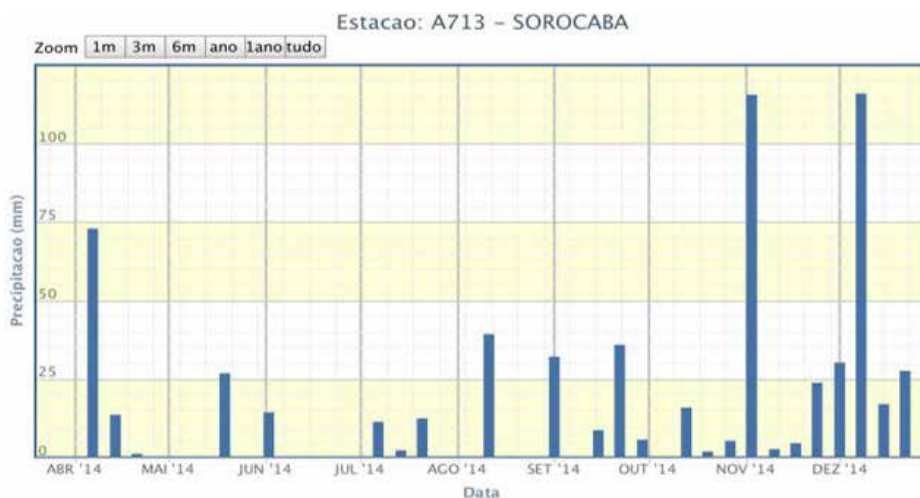


Figura 4: Precipitação da região de Sorocaba, compreendendo os meses de abril a dezembro de 2014

Observa-se nesta figura que os índices pluviométricos para os meses de maio, setembro e novembro, considerando o período de 15 dias anteriores à coleta do efluente, são respectivamente de 25 mm, 35 mm e 115 mm.

3.2 Turbidez

A Fig. 5 apresenta os valores da turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU) para

efluentes de viveiro de eucalipto tratados pelo processo de eletroflotação durante um tempo de 55 min; para os meses de maio, setembro e novembro, sendo em marrom a turbidez inicial e em azul a final. Observa-se que o valor inicial da turbidez é diferente para cada mês coletado e que em todos os casos ocorre redução da turbidez em comparação com a turbidez inicial, sendo de 98%, 99% e 66%, respectivamente para os meses de maio, setembro e novembro.

Observa-se também que para o mês de novembro, apesar de a turbidez inicial ser menor que nos outros meses, também a redução foi

menor, possivelmente em virtude da menor coagulação ocorrida devido à baixa concentração de partículas.

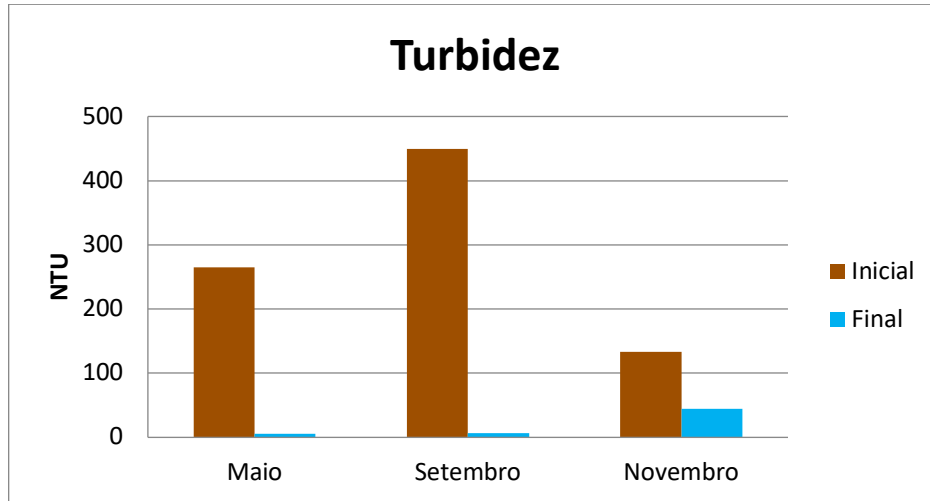


Figura 5: Turbidez (NTU) inicial e final para os efluentes tratados pelo processo de eletrocoagulação por tempo fixo de 55 minutos, para os diferentes meses de maio, setembro e novembro de 2014

3.3 DBO₅

Os resultados de DBO₅ (mg O₂ l⁻¹) para os efluentes de viveiro de eucalipto, coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014 e tratados pelo processo de eletrocoagulação, durante um tempo fixo de 55 min, estão apresentados na

Fig. 6. Nesta figura observa-se que a DBO₅ inicial tem valores diferentes para cada mês de coleta, sendo respectivamente 17, 15 e 5 (mg O₂ l⁻¹) e que em todos os casos há nítida redução da DBO₅ de 69%, 80% e 40%, respectivamente para os meses de maio, setembro e novembro.

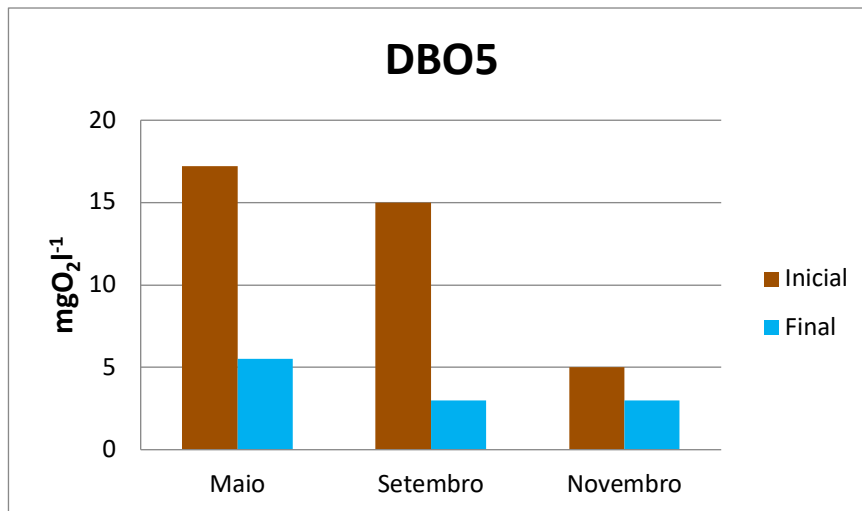


Figura 6: Valores de DBO₅ (mg O₂ l⁻¹) para os efluentes de viveiro de eucalipto coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014, tratados pelo processo de eletrocoagulação durante tempo de 55 minutos

3.4 DQO

Observam-se na Fig. 7 que os valores de DQO iniciais são diferentes para cada mês de coleta (120, 110 e 60 mg O₂ l⁻¹ para maio, setembro e novembro, respectivamente) e que ao final do tratamento sofrem redução de 89%, 95% e 42%,

valores respectivos aos efluentes coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014. Percebe-se aqui, como observou-se em relação aos valores de turbidez e DBO₅, que também ocorre uma maior redução no parâmetro DQO para os efluentes de maio e setembro.

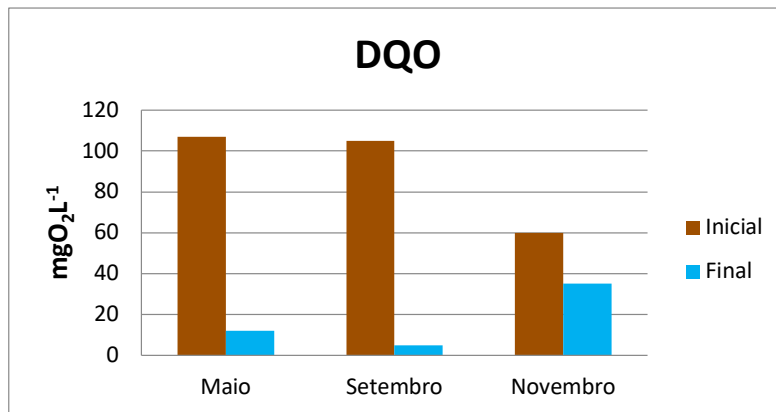


Figura 7: Valores iniciais e finais de DQO (mg O₂ l⁻¹) para os efluentes de viveiro de eucalipto coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014, tratados pelo processo de eletrocoagulação durante tempo de 55 min

3.5 pH

Os resultados de pH encontram-se na Fig. 8, onde se tem os valores de pH para os efluentes antes e após o tratamento por eletroflotação para os respectivos meses de maio, setembro e novembro de 2014 após 55 minutos de tratamento.

Observam-se em todos os casos um aumento no valor do pH, o qual inicialmente correspondia a

7,5 (pH neutro) e ao final apresenta pH ao redor de 10, 9,5 e 9,5 (pH básico) para os meses de maio, setembro e novembro, respectivamente; ou seja, aumento de 33% e 27%. A elevação do pH é uma característica do processo de eletrocoagulação, devido à liberação de coagulante (hidróxido de alumínio), tanto que o tratamento eletrolítico é conhecido como uma técnica neutralizadora de pH quando o pH inicial é ácido (CAMBOIM, 2010).

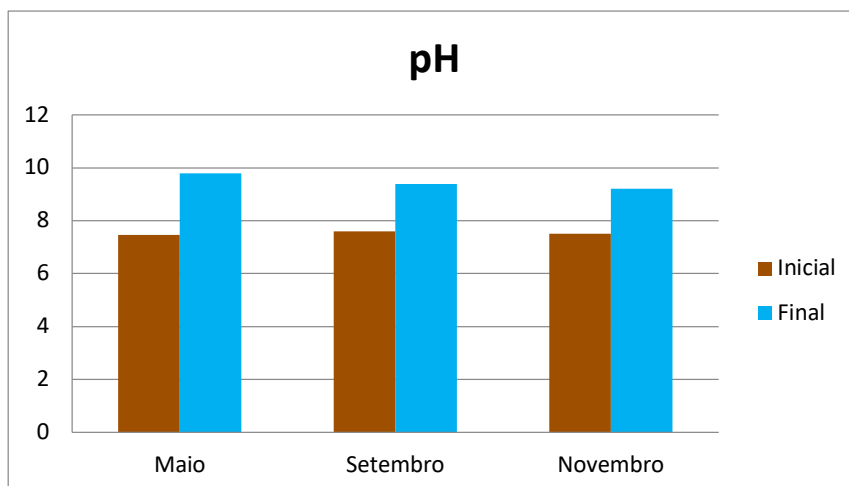


Figura 8: Valores de pH antes (inicial) e após (final) tratamento por eletrocoagulação de efluentes coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014

3.6 Condutividade elétrica

Os resultados para a condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do efluente, medidos no início e no final do tratamento por eletrocoagulação, são apresentados na Fig. 9, para os efluentes de viveiro de mudas de eucalipto coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014. Os resulta-

dos mostram que ocorre diminuição nos valores da condutividade elétrica, isto é, cerca de 19%, 16% e 15% respectivamente para os efluentes coletados nos meses de maio, setembro e novembro. Essa redução está associada à remoção de sólidos suspensos e sais dissolvidos, utilizados nos processos de adubação das mudas.

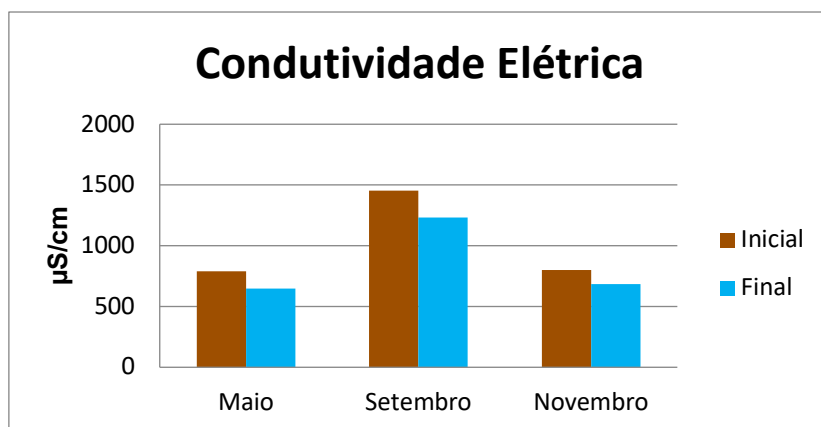


Figura 9: Valores de condutividade elétrica antes (inicial) e após (final) tratamento do efluente por eletrocoagulação, com tempo de tratamento de 55 min de duração. Efluentes coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014

3.7 Resumo dos resultados

A Tabela 1, a seguir, tem por objetivo reunir os principais resultados obtidos no tratamento de efluentes de águas de irrigação e pluviais utilizadas em viveiros de mudas de eucalipto.

Nesta tabela encontram-se os valores das propriedades físico-químicas para tratamento de efluente utilizando-se a técnica de eletrocoagulação com tempo de tratamento fixado em 55 minutos.

Tabela 1: Valores das propriedades físico-químicas para o processo de eletrocoagulação aplicado a efluente de viveiro de mudas de eucalipto para tempo de tratamento de 55 minutos

Propriedade Físico-química	Inicial			Final			Remoção (%)		
	Maio	Setembro	Novembro	Maio	Setembro	Novembro	Maio	Setembro	Novembro
Turbidez (NTU)	250	450	120	5.5	6.18	44.9	98	99	66
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	17	15	5	5.5	3	3	69	80	40
DQO (mgO ₂ /l)	120	110	60	12	5	35	89	95	42
pH	7.5	7.5	7.5	10	9.5	9.5	33	27	27
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	800	1450	800	600	1200	700	25	17	12.5

Analisando-se tais resultados observa-se claramente que o processo de eletrocoagulação apresenta grande potencial de uso para aplicação em tratamento de efluentes da indústria voltada à produção de mudas de eucalipto. Tem como características a eficiência na remoção de sólidos suspensos totais, não utilização de produtos químicos e baixo tempo de tratamento em compa-

ração aos métodos tradicionais; principalmente ao levar em consideração os parâmetros essenciais para avaliação do reúso do efluente, como por exemplo, a turbidez, DBO5 e DQO. Para fins comparativos, podemos observar na Tabela 2 os dados relacionados ao tratamento de esgoto sanitário utilizando a eletrocoagulação e lodos ativados citados por CERQUEIRA (2006).

Tabela 2: Comparação entre o tratamento eletrolítico e lodos ativados no tratamento de esgotos sanitários.

Fatores	Eletrolítico	Lodos Ativados (média)
Investimento (%)	70	100
Consumo de Energia (kWhm ³)	0.15	0.4
Tempo de retenção no reator (h)	0.5	7.5
Toxides (sensibilidade)	Pouco Sensível	Muito sensível
Sensibilidade à mudanças de pH	Baixa	Alta
Flexibilidade (localização/ tipo de efluente)	Alta	Baixa
Salinidade elevada	Melhora a eficiência	Muito sensível
Temperatura	Suporta flutuação	Faixa estreita
Volume de lodo úmido (comparativo)	33	100
Remoção de Nitrogênio Total (%)	65	40
Remoção de Fosfatos (%)	99.7	45
Remoção de DBO (%)	80	90
Remoção de DQO (%)	80	90

Fonte: CERQUEIRA (2006)

Em relação à condutividade, os dados mostram que o efluente tratado aproxima-se dos níveis de rios de água doce e rios marginais, conforme mostra a tabela abaixo.

Tabela 3: Condutividade elétrica de diferentes tipos de água.

Tipo de água	Condutividade elétrica (µS/cm)
Água deionizada	0,5 - 3
Pura água da chuva	<15
Rios de água doce	0 - 800
Água de rios marginais	800 - 1.600
Água salobra	1.600 - 4.800
Água salina	>4.800
Água do mar	51,500
Águas industriais	100 - 10.000

Fonte: AgSolve (2016)

Embora alguns nutrientes como: fósforo, potássio, enxofre, boro e molibdênio apresentem disponibilidade ótima em pH alcalino (> 10), seria interessante considerar a correção do pH (ao redor de 7) para melhorar a solubilidade dos demais nutrientes.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, sobre avaliação do processo de eletrocoagulação aplicado ao tratamento de efluentes de viveiro de mudas de eucalipto, com efluentes coletados nos meses de maio, setembro e novembro de 2014, e tempo de tratamento total de 55 minutos, pode-se concluir que:

- O processo de eletrocoagulação reduz a turbidez em até 99%, a DBO5 em até 80% e a DQO em até 95%;
- Ocorre redução da condutividade do efluente;
- O tempo de tratamento de 55 minutos é pequeno em comparação aos tratamentos tradicionais (POA, lodo ativado, sedimentação).

Com base em tais resultados, evidencia-se o grande potencial de utilização da eletrocoagulação no tratamento deste efluente, visto que

alcançou o padrão desejado, devido à redução da turbidez, para a reutilização na irrigação. O tratamento torna-se interessante do ponto de vista econômico, especialmente para pequenas empresas, devido à simplicidade de implantação e controle, mas principalmente devido ao curto tempo de tratamento do efluente (abaixo de 1h) e à não necessidade de adicionar qualquer produto químico. Além dessas vantagens, análises posteriores, realizadas no efluente tratado, quantificaram o remanescente de fertilizantes presentes e apontaram para uma economia considerável de tais insumos, sendo esses resultados bastante promissores. Ressalta-se que estudos baseados em análise técnico-econômica serão realizados no sentido de elucidar o investimento de tal processo.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

AGSOLVE – **Monitoramento Ambiental**. Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/noticias/como-e-porque-medir-a-conductividade-eletrica-ce-com-sondas-multiparametros> Acesso em: Março, 2016.

APHA. **Standard methods for examination of Water and Wastewater**, 21 edição. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.

ARAYA-FARIAS, M.; MONDOR, M.; LAMARCHE, F.; TAJCHAKAVIT, S.; MAKHLOUF, J. Clarification of apple juice by electroflotation. **Innovative food and science and emerging technologies**, Quebec, v. 9, p. 320-327, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.08.002>

CAMBOIM, R. A. **Técnica de eletroflotação aplicada na remoção de cores de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado)- Unicamp. Campinas, 2010.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletroflotação no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado) - UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

COTILLAS, S.; LLANOS, J.; MIRANDA, O. G. et al. Coupling UV irradiation and electrocoagulation for reclamation of urban wastewater. **Electrochimica Acta**, v140, p. 396-403, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.04.037>

ESFANDYARI, Y. MAHDAVI, Y. SEYEDSALEHI, M. et al. Degradation and biodegradability improvement of the olive mill wastewater by peroxi-electrocoagulation / electrooxidation-electroflotation process whit bipolar aluminium electrodes. **Environ Sci Pollut Res**, Berlin, 2014. Olive mill (2014). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3832-5>

ESSADKI, A. H.; GOURICH, B.; AZZI, M. et al. Kinect study of defluoridation of drinking water by electrocoagulation /electroflotation in a stirred tank reactor and in na external-loop airlift reactor. **Chemical Engineering Journal**, v164, n1, p. 106-114, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2010.08.037>

FERREIRA, L. H. **Remoção de sólidos em suspensão de efluente de indústria de papel por eletroflotação**. Dissertação (Mestrado) - Unicamp. Campinas, 2006.

FOGO, F. C. **Avaliação e critérios de eficiência nos processos de tratamento de fluido de corte por eletroflotação**. Dissertação (Mestrado) - USP. São Carlos, 2008.

GHERNAOUT, D.; BADIS, A.; KELLIL, A. et al. Application of electrocoagulation in *Escherichia coli* culture and two surface water. **Desalination**, v219 p. 118 – 125, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.010>

GHERNAOUT, D.; IRKI, S.; BOUCHERIT, A. Removal of Cu²⁺ and Cd²⁺, and humic acid and phenol by electrocoagulation using iron electrodes. **Desalination and water treatment**, p.1-15, 2013. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.852484>

IBRAHIM, D. S.; DEVI, P. S.; VEERABABHU, C e BALASUBRAMANIAN, N. Treatment of petroleum effluent using a tubular electrochemical reactor. **Petroleum Science and technology**, v32, n16, p. 1932-1939, 2013. <https://doi.org/10.1080/10916466.2012.701693>

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 10/10/2015.

KALYANI, K. S. P.,; BALASUBRAMANIAN, N., SRINIVASAKANNAN, C. Decolorization and COD redution of paper industrial efluente using electrocoagulation. **Chemical Engineering Journal**. v151, p. 97-104, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.050>

KHOSA, M. K.; JAMAL, M. A.; HUSSAIN, A. et al. Efficiency of aluminium and iron electrodes for the removal of heavy metals [Ni(II), PB(II), CD(II)] by electrocoagulation method. **Journal of the Korean Chemical Society**, v57, n3, p. 316-321, 2013. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2013.57.3.316>

MERZOUK, B.; GOURIK, B.; SEKKI, A. et al. Removal Turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation-electroflotation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v164, p. 215-222, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.144>

MORA, A. L. GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. São Paulo – SP. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

OLIVEIRA, J. S. **Tratamento de água produzida utilizando eletroflotação**. Universidade de Tiradentes, Brasil (2012).

PEREIRA, A. F.S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado) - Unicamp. Campinas, 2007.

RAMALHO, A. M. Z. **Estudo de reatores eletroquímicos para remoção de Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fenol e BTEX em água produzida**. Dissertação (Mestrado) - UFRN. Natal, 2008.

SANTOS, A. C.; CRUZ, S. M.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H.; TONHOLO, J.; ZANTA, C. L. P. S.; MIRAPALHETA, A. **Tratamento de Efluentes sintéticos de petróleo utilizando o método da eletroflotação**. 4º PDPETRO, Campinas, 2007.

SILVA, P. H. M., WICHERT, M.C.P., GONÇALVES, J. L. M. **Indicadores Estatísticos sobre Viveiros Florestais no Brasil**, 2008. <http://www.ipef.br/silvicultura/indicadores.asp>

SOLOMAN, P. A.; BASHA, C. A.; VELAN, M.; BALASUBRAMANIAN, N.; MARIMUTHU, P. **Electrochemical degradation of pulp and paper industry waste-water**. Wiley interscience, 2009. <https://doi.org/10.1002/jctb.2176>

STULP, S.; SILVA, C. P.; MARMITT, S. O uso de técnicas eletroquímicas no tratamento de efluente de indústria alimentícia: uma ferramenta para gestão ambiental. **Estudo e Debate**, Lajeado, v. 12, n. 2, p. 109-123, 2005.

WANG, C. T.; CHOU, W. L.; KUO, Y. M. Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation/ electroflotations. **Journal of Hazardous Materials**, v164, p.81-86, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.122>