TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E EFLUENTES

TRATAMENTO DE EFLUENTE UTILIZANDO A TÉCNICA DE ELETROFLOCULAÇÃO COM DIFERENTES ELETRODOS E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Thais Fernandes Neulls[1]; João Victor Ferreira de Souza[2] Rodrigo Vieira Blasques[3]; Darlan Ferreira da Silva[4]; Wolia Costa Gomes[5];

[1]Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do CEUMA, thaisneulls@hotmail.com.
[2]Graduando do Curso de Engenharia Civil, Universidade do CEUMA, eng.victorfsousa@outlook.com.
[3]Graduando do Curso de Química Industrial, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, blasques@live.com.
[4] Pós-Doc, Mestrado em Meio Ambiente, Universidade do CEUMA, darlanveggito@hotmail.com.
[5] Doutora em Engenharia de Processos, Universidade do CEUMA, woliacg@gmail.com.

RESUMO

Com o crescimento demográfico, as atividades e habitações existentes próximas aos rios e lagoas estão cada vez mais poluídos. Assim, esse estudo tem como objetivo aplicar a eletro-floculação no tratamento de efluentes, avaliando a eficiência do processo pelos teores de turbidez, da demanda química de oxigênio e do pH, utilizando placas de alumínio e zinco como eletrodos de sacrifício. Para uma boa eficiência das propriedades estudadas, foi utilizado um tempo de eletrofloculação de 30 minutos com uma pequena potência elétrica. Durante o processo experimental, pôde-se observar que houve uma significativa melhora da qualidade da água nos aspectos analisados. A eficiência desse tratamento tende a resultados mais elevados com o aumento na intensidade de correntes, entretanto, as placas de alumínio e zinco reagiram de forma diferente com relação ao pH, no qual o alumínio na medida do processo, diminuía seu valor inicial, enquanto o zinco elevava esses valores, isso devido a variação dos íons, do alumínio e do zinco. Duas componentes principais foram geradas para explicar 83,00% da variância no experimento. A análise de componentes principais indicou que, ambos os eletrodos foram eficazes no tratamento do efluente, pois apresentaram boa correlação quanto aos parâmetros pH, DQO e turbidez.

Palavras-chave: Efluente; eletrofloculação; tratamento de águas; análise de componentes principais.

INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema que atinge o mundo inteiro e está relacionado com o crescimento populacional e a falta de saneamento básico adequado, onde são despejados uma grande carga de materiais orgânicos, inorgânicos e elementos tóxicos, sem nenhum tipo de tratamento, que tornam esse recurso inadequado para consumo humano. Com a problemática, a preservação dos recursos hídricos é um tema decorrente atualmente, tendo em vista a importância da água para sobrevivência das diversas espécies (Behling, 2019).

De acordo com Marques (2017), a falta de esgoto encanado, fossas negras construídas inadequadamente e a ausência da coleta de lixo, são um dos principais problemas de saneamento básico ainda persistente em várias cidades do Brasil.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/1997, não regulamenta efluentes. Porém, tem por objetivos assegurar a necessária disponibilidade de água; gerenciar o uso racional e integrado dos recursos hídricos, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; além da prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos. O seu art. 9º estabelece que o enquadramento dos corpos d'água, em classes, deve garantir a qualidade das águas e mitigar os custos referentes ao combate à poluição, através da adoção de ações preventivas permanentes (Bandeira, 2018).

Assim, tende-se procurado soluções com baixo custo. Nesse contexto, o processo de eletrofloculação surgiu como uma alternativa aos processos de tratamento de efluentes como uma boa alternativa para tratamentos da redução da DQO (Demanda Química de Oxigênio). Este tratamento eletroquímico desestabiliza as moléculas do poluente do efluente através de uma diferença de potencial elétrico aplicado aos eletrodos de sacrifício, geralmente de ferro (Fe) ou alumínio (Al) e, como consequência, cátions são gerados pelo ânodo, reagindo com os coloides da solução tratada, flotando em forma de hidróxidos (Strate, 2014).

OBJETIVOS

Esse estudo tem como objetivo trazer a aplicação da eletrofloculação no tratamento de efluentes, avaliando as características de turbidez, DQO e pH durante o processo de tratamento, utilizando placas de Al (alumínio) e Zn (zinco) como eletrodos de sacrifício.

MATERIAL E MÉTODOS

As análises físico-químicas das amostras de efluente foram realizadas no Laboratório de Química Tecnológica da Universidade Ceuma (UNICEUMA), campus Renascença.

Coleta e análise do efluente

O efluente escolhido para este estudo foi coletado da laguna da Jansem, localizada em São Luis – MA. O efluente bruto foi coletado em galões de plásticos com capacidade para 10 L e analisados em até 24 h.

Os parâmetros físico-químicos turbidez, pH, temperatura e demanda química de oxigênio (DQO) foram realizados antes, durante e após os testes feitos com o efluente. As metodologias empregadas na caracterização físico-química, na preservação das amostras, no tempo de estabilização do efluente para posterior análise foram baseadas no *Standard Methods for Examination of Water & Wasterwater* (APHA, 1995). Os ensaios experimentais foram

realizados em triplicada, avaliando-se a variação das distâncias dos eletrodos, em relação aos efeitos nas variáveis físico-químicas

O efluente em questão utilizado no tratamento por eletrofloculação foi retirado da laguna da Jansem, próximo as margens, onde, visualmente armazenava uma maior quantidade de dejetos sobre a água.

Eletrofloculação

Os testes de eletrofloculação foram conduzidos em um reator eletrolítico de bancada com capacidade de 200 mL, com os eletrodos de sacrifício: alumínio (130 mm de altura x 70 mm de largura x 3 de espessura) ou zinco (130 mm de altura x 70 mm de largura x 3 de espessura) posicionado acima do reator e conectados a uma fonte de corrente contínua (marca Instrutherm, modelo FA 3030), como mostrado na Figura 1. Para os testes foram utilizados dois eletrodos de mesma espécie, separados pelas distâncias de 0,5; 1,5 e 3 cm, por material não condutor de eletricidade (tubos de PVC).

Figura 1. Sistema experimental da unidade piloto para o processo de eletrofloculação.



Fonte: Autor, 2018

Para cada eletrodo foram testados os tempos de reação de 5, 10, 20 e 30 minutos. Após o processo de eletrofloculação, a água foi filtrada e transferida para garrafas plásticas para posterior análises.

Análise do efluente bruto e do efluente tratado

Foram realizados vários testes com os efluentes bruto e tratado, relacionando a distância entre os eletrodos e a variação nos parâmetros estudados como forma de certificar a

qualidade do tratamento. As análises físico-químicas realizadas nos efluentes tratado e bruto foram: pH, turbidez, temperatura e demanda química de oxigênio (DQO).

Para medir o pH realizou-se medição instrumental utilizando pH-metro digital, marca Micronal. As análises de turbidez foram realizadas via método nefelométrico, em turbidímetro de bancada.

Para realizar as análises da DQO (Demanda Química de Oxigênio), foram pipetados 5 mL da amostra, 2,0 mL da solução catalítica e 1,0 da solução digestora e inseridos em uma cubeta, posteriormente foi levada a um digestor por duas horas a 150°C. Em seguida foi retirada e deixada em repouso por 10 minutos, após o repouso agitou-se a cubeta e retirou-se os sobrenadantes e foi realizada leitura a 620 nm no espectrofotômetro.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas usando o software Origin Pro 8. A correlação entre as variáveis e os tempos de tratamento com os eletrodos de alumínio e zinco foram conduzidas pela Análise de Componentes Principais (PCA) usando o software Minitab 17.

Para as análises físico-químicas, os resultados foram expressos em média e desvio padrão (± DP). A análise de variância (ANOVA) foi realizada para avaliar a diferenças entre as distâncias, os tempos de tratamento e o eletrodo utilizado no sistema experimental. O teste comparativo entre as médias foi realizado usando o teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema experimental de eletrofloculação para tratamento de efluente foi constituido de dois eletrodos de alumínio e dois eletrodos de zinco, separadamente, de modo à compará-los acerca de cada material.

Na Tabela 1, são apresentados os dados de pH em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

Tabela 1. Dados experimentais do pH em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

	pH					
	Distâncias dos eletrodos (cm)			Distâncias dos eletrodos (cm)		
Tr.* (min)	0,5	1,5	3,0	0,5	1,5	3,0
	Alumínio			Zinco		
0	8,75±0,01^{a}	8,64±0,01^{a}	8,70±0,010^{a}	8,75±0,01^{a}	8,63±0,01^{b}	8,71±0,01^{c}
5	7,37±0,01^{a}	7,35±0,01^{a}	6,80±0,010^{b}	7,39±0,01^{a}	7,36±0,01^{a}	6,81±0,01^{b}
10	7,54±0,01^{a}	7,64±0,01^{b}	6,23±0,010^{c}	7,56±0,01^{a}	7,64±0,01^{b}	6,23±0,01^{c}

20	6,57±0,01^{a}	8,00±0,01^{b}	7,45±0,005^{c}	6,56±0,01^{a}	8,00±0,01^{b}	7,46±0,01^{c}
30	6,25±0,01^{a}	6,73±0,01^{b}	6,73±0,010^{b}	6,26±0,01^{a}	6,73±0,01^{b}	6,73±0,01^{b}

*Tr. (Tratamento). Valores em média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Durante o processo de eletrofloculação ocorre liberação de hidróxido. Dos resultados apresentados, a variação das distâncias entre os eletrodos, não foi um fator que afetou diretamente o processo. O tempo de tratamento contribuiu para diminuir o pH do efluente, que variou de 8,75 a 6,25. Já as respostas para o tratamento com eletrodo de zinco, foram observados o mesmo comportamento, ou seja, diminuição do pH do meio.

Na Tabela 2, são apresentados os dados da temperatura em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

Tabela 2. Dados experimentais da temperatura em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

	Temperatura (°C)					
	Distâncias dos eletrodos (cm)			Distâncias dos eletrodos (cm)		
Tr.* (min)	0,5	1,5	3,0	0,5	1,5	3,0
	Alumínio			Zinco		
0	9,53±0,15^{a}	13,16±0,76^{b}	9,76±0,25^{a}	15,76±0,25^{a}	12,53±0,50^{b}	13,43±0,51^{b}
5	10,50±0,50^{a}	13,16±0,76^{b}	11,83±0,01^{ab}	16,43±0,51^{a}	13,50±0,50^{b}	15,00±1,00^{ab}
10	10,46±0,15^{a}	15,46±0,50^{b}	13,70±0,26^{c}	16,00±1,00^{a}	14,40±0,52^{a}	15,53±0,50^{a}
20	11,60±0,52^{a}	15,76±0,68^{b}	14,56±0,40^{b}	16,90±0,36^{a}	15,43±0,51^{a}	17,00±1,00^{a}
30	12,00±1,00^{a}	17,43±0,51^{b}	15,9±0,36^{b}	17,53±0,50^{a}	16,43±0,51^{a}	17,50±0,50^{a}

*Tr. (Tratamento). Valores em média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

A temperatura apresenta uma influência direta no processo de eletrofloculação. A formação de microbolhas de gás hidrogênio, geradas durante os testes, ascendem mais rapidamente para a camada de espuma que se acumulam na parte superior do efluente em tratamento (Vieira e Cavalcanti, 2017; Abreu et al., 2018). Este efeito reduz a passivação dos eletrodos e gera um aumento na eficiência do processo. Em ambos os eletrodos utilizados, a temperatura do efluente apresentou uma tendência a aumentar durante o processo.

Na Tabela 3, são apresentados os dados de turbidez em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

Tabela 3. Dados experimentais da turbidez em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

	Turbidez (UNT)					
	Distâncias dos eletrodos (cm)			Distâncias dos eletrodos (cm)		
Tr.*	0,5	1,5	3,0	0,5	1,5	3,0

(min)						
	Alumínio			Zinco		
0	17,27±0,003^{a}	20,97±0,006^{b}	26,57±0,025^{c}	13,60±0,36^{a}	16,04±0,14^{b}	20,53±0,009^{c}
5	12,13±0,005^{a}	10,40±0,004^{b}	14,33±0,007^{c}	22,37±0,03^{a}	19,38±0,01^{b}	19,92±0,06^{c}
10	5,83±0,200^{a}	26,31±0,002^{b}	12,66±0,001^{c}	14,72±0,06^{a}	17,25±0,03^{b}	19,77±0,02^{c}
20	4,28±0,007^{a}	11,68±0,002^{b}	11,83±0,002^{c}	13,48±0,04^{a}	16,54±0,04^{b}	18,97±0,02^{c}
30	17,27±0,005^{a}	20,97±0,005^{b}	26,55±0,004^{c}	13,35±0,05^{a}	15,94±0,05^{b}	20,55±0,02^{c}

*Tr. (Tratamento). Valores em média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

A turbidez é a leitura da intensidade da luz pela amostra estudada, que relaciona a presença de materiais particulados com a transparência do meio (Aquino Neto, Magri, Da Silva, & De Andrade, 2011). A análise da turbidez do efluente mostrou, qualitativamente, a variação da transparência da água devido a suspensão de materiais orgânicos e inorgânicos presentes. Nos ensaios realizados com o eletrodo de alumínio, pôde-se verificar, também, quantitativamente, a eficácia deste em relação ao tratamento com o eletrodo de zinco, sendo que os valores médios de turbidez em torno de 30 minutos de tratamento com o eletrodo de alumínio foram de 4 a 11 UNT, aproximadamente e, com o eletrodo de zinco em torno de 13 e 18 UNT. Na Tabela 4, são apresentados os dados da demanda química de oxigênio em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

Tabela 4. Dados experimentais da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em relação às distâncias entre os eletrodos durante o processo de eletrofloculação.

	DQO (%)					
	Distâncias dos eletrodos (cm)			Distâncias dos eletrodos (cm)		
Tr.* (min)	0,5	1,5	3,0	0,5	1,5	3,0
	Alumínio			Zinco		
0	141,33±1,52^{a}	169,00±1,00^{b}	265,66±1,52^{c}	180,33±1,52^{a}	161,33±1,52^{b}	278,66±3,21^{c}
5	153,66±1,52^{a}	173,66±1,52^{b}	278,00±2,00^{c}	187,33±2,51^{a}	166,00±2,00^{b}	282,66±2,08^{c}
10	221,00±1,00^{a}	182,66±1,52^{b}	445,66±2,08^{c}	232,33±2,08^{a}	189,66±1,52^{b}	336,33±1,52^{c}
20	164,00±2,00^{a}	155,33±1,52^{b}	387,33±2,51^{c}	169,33±4,04^{a}	167,66±2,51^{a}	400,66±2,08^{b}
30	152,66±1,15^{a}	175,66±2,08^{b}	410,33±1,52^{c}	159,33±2,08^{a}	182,00±2,64^{b}	402,66±2,51^{c}

*Tr. (Tratamento). Valores em média ± desvio padrão (n = 3). Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

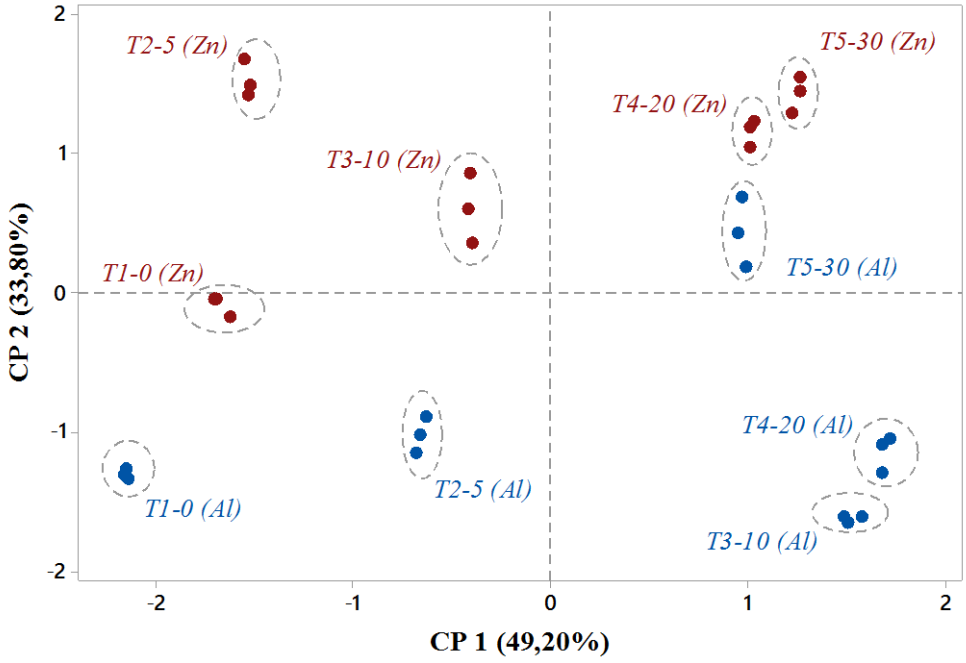
A análise da demanda química de oxigênio avalia a qualidade de oxigênio dissolvido. É um parâmetro importante nos estudos da caracterização de águas poluídas (Bittencourt et al., 2018).

Nos ensaios realizados com os eletrodos de alumínio e de zinco, pôde-se verificar, de forma geral, que ambos os eletrodos promovem um aumento dos níveis de DQO. Os valores

médios observados em torno de 30 minutos de tratamento foram de 152 a 410 %, com o eletrodo de alumínio e, de 159 a 402 % com o eletrodo de zinco.

De modo a avaliar as correlações entre todas as variáveis estudadas, a análise de componentes principais foi realizada. Da análise de componentes principais, pôde ser notado que a componente principal 1 (CP1) é a mais significante em descrever o modelo estatístico, explicando 63,60% da variação total dos dados empregando o eletrodo de alumino e 65,90%, empregando eletrodo de zinco. A seguir, na Figura 2, é apresentado o posicionamento dos cinco tempos de tratamento por eletrofloculação em relação aos parâmetros e eletrodos avaliados.

Figura 2. Posicionamento dos cinco tempos de tratamento por eletrofloculação em relação aos parâmetros e eletrodos avaliados. T1: 0 (zero); T2: 5 (cinco minutos); T3: 10 (dez minutos); T4: 20 (vinte minutos) e T5: 30 (trinta minutos). Al (eletrodo de alumínio); Zn (eletrodo de zinco).

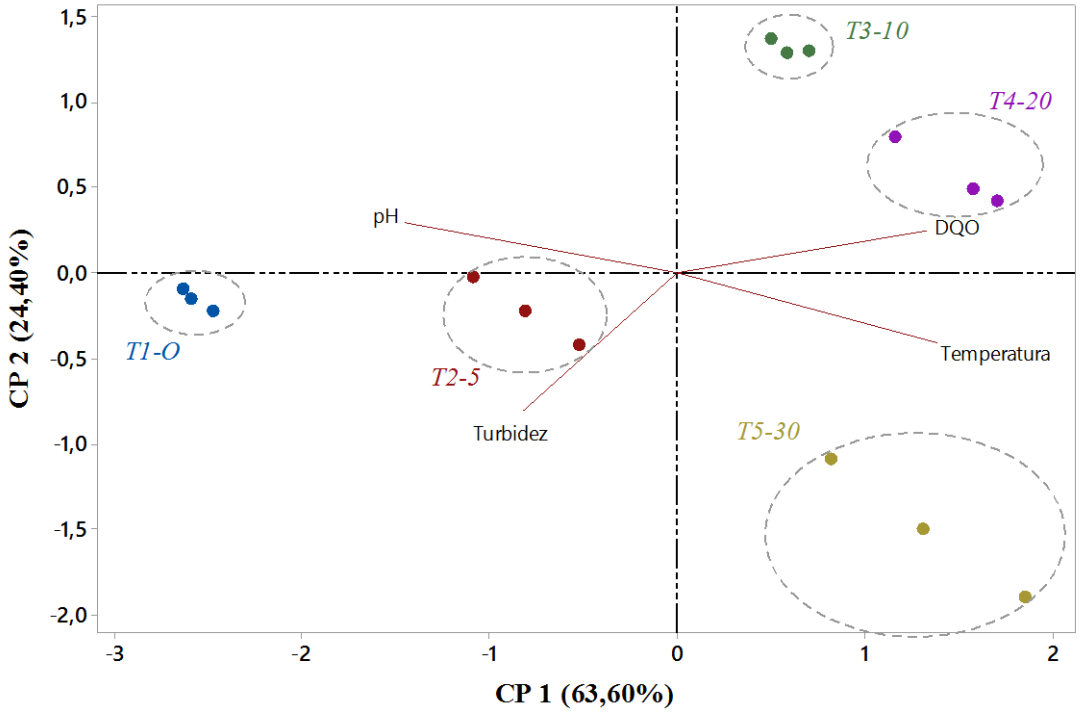


Fonte: Autor, 2019

As duas primeiras dimensões da ACP de todos os parâmetros físico-químicos explicaram 83,00% da variância. Dez agrupamentos podem ser destacados: T1-0, T2-5, T3-10, T4-20 e T5-30, ambos para os dois eletrodos utilizados, totalizando dez pequenos agrupamentos em destaque, mostrando a distinção entre o emprego do eletrodo de alumínio e de zinco no processo de eletrofloculação. Em geral, em relação a todas as análises realizadas, todos os tempos de tratamentos testados foram diferentes entre si, já que a distância entre eles é visivelmente notada no gráfico. A seguir, na Figura 3, é apresentada a análise de componentes

principais (ACP) para os tempos de tratamento e os parâmetros avaliados empregando o eletrodo de alumínio.

Figura 3. Análise de componentes principais (ACP) para os tempos de tratamento e os parâmetros avaliados durante o processo de eletrofloculação empregando o eletrodo de alumínio. T1: 0 (zero); T2: 5 (cinco minutos); T3: 10 (dez minutos); T4: 20 (vinte minutos) e T5: 30 (trinta minutos).

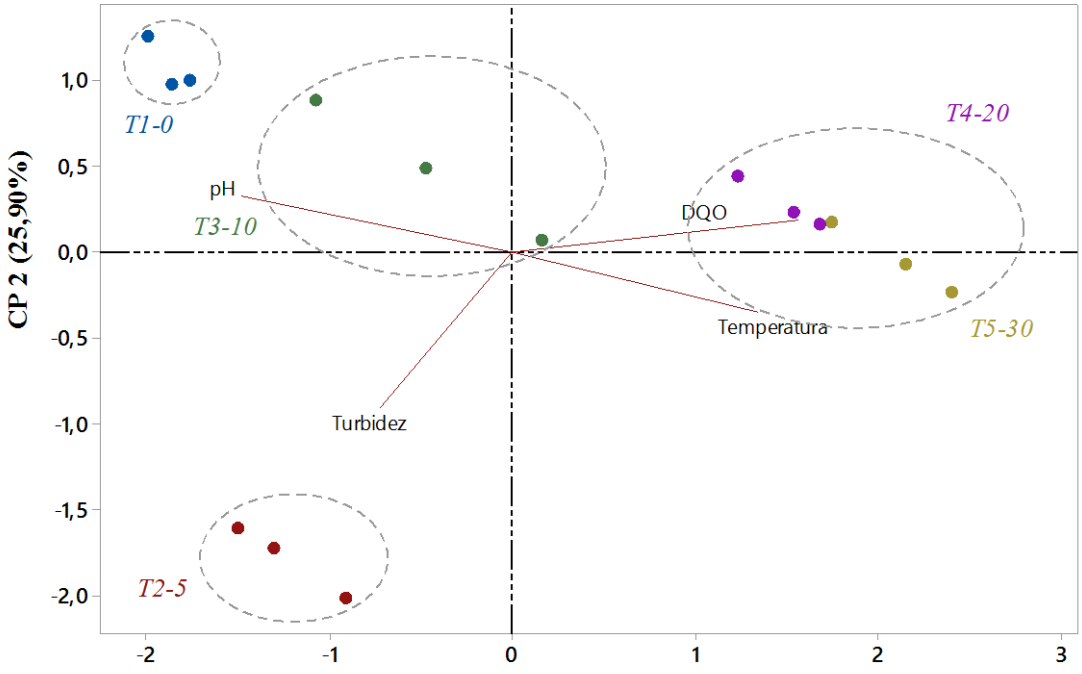


Fonte: Autor, 2019

Como mostra a Figura 3, as duas dimensões (eixos x e y) da ACP explicaram 88,00% da variância total dos dados avaliados para o uso da eletrofloculação empregando o eletrodo de alumínio. Assim, pela Figura 3, temos que: antes do início do processo de eletrofloculação (T1: tempo zero), o efluente analisado apresentou correlação direta com níveis mais elevados de turbidez e pH, assim como para os níveis analisados aos 5 minutos de tratamento (T2); logo, os demais tempos de análise (T3, T4 e T5) tendem a apresentar níveis menores quanto a estes parâmetros, ou seja, tempos maiores de tratamento utilizando o processo de eletrofloculação contribuem para a o aumento do pH e a diminuição da turbidez do efluente.

Quantos aos parâmetros de DQO e temperatura, é possível inferir que, 10 e 20 minutos de tratamento contribuíram para o aumento dos níveis de DQO e que 30 minutos de tratamento causam um aumento na temperatura do efluente durante o processo. A seguir, na Figura 4, é apresentada a análise de componentes principais (ACP) para os tempos de tratamento e os parâmetros avaliados empregando o eletrodo de zinco.

Figura 4. Análise de componentes principais (ACP) para os tempos de tratamento e os parâmetros avaliados durante o processo de eletrofloculação empregando o eletrodo de zinco. T1: 0 (zero); T2: 5 (cinco minutos); T3: 10 (dez minutos); T4: 20 (vinte minutos) e T5: 30 (trinta minutos). Al (eletrodo de alumínio); Zn (eletrodo de zinco).



Fonte: Autor, 2019

Na Figura 4, as duas dimensões da ACP explicaram 91,80% da variância total dos dados avaliados para o uso da eletrofloculação empregando o eletrodo de zinco. Assim, pela Figura 5, temos que: antes do início do processo de eletrofloculação (T1: tempo zero), o efluente analisado apresentou correlação direta com níveis mais elevados de turbidez e pH, assim como para os níveis analisados aos 10 minutos de tratamento (T3); logo, os demais tempos de análise (T4 e T5) são inversamente correlacionados, ou seja, menores, quanto a estes parâmetros, mostrando, a eficiência do processo com o tempo de tratamento.

Quantos aos parâmetros de DQO e temperatura, é possível inferir que, o tempo de 20 minutos de tratamento apresenta correlação direta com altos níveis de DQO e que, 30 minutos de tratamento (T5) causam um aumento na temperatura do efluente durante o processo, assim como mostrado para o eletrodo de alumínio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência desse tratamento varia conforme o tempo e a distância dos eletrodos, contudo, a técnica de eletrofloculação mostrou-se eficiente e viável dentro dos parâmetros

abordados. Para este trabalho foi estudado a viabilidade da técnica da eletrofloculação aplicada no tratamento do efluente da laguna da Jansem. Esse tratamento apresentou uma ótima eficiência para a redução da poluição de elementos orgânicos e inorgânicos encontrados na água. Os parâmetros mais eficazes nesse processo foram a turbidez, a demanda química de oxigênio e o pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, J. D.; Adam, C.; Costa, A. F.; Marian, S.; Koslowski, L. A. D. Tratamento de efluente proveniente de serigrafia via eletrocoagulação. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2 (1), 547-556, 2019.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Washington,1995.

Aquino Neto, S., Magri, T. C., Da Silva, G. M., & De Andrade, A. R. Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. *Quimica Nova*, *34*(8), 1468–1471, 2011.

Bandeira, A. A.; Esquerre, K. R.; Borges, R. B. A regulamentação sobre o tratamento e a disposição final de efluentes industriais: avaliação do gerenciamento de efluentes no Polo Industrial de Camaçari – Estado da Bahia. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, [S. l.], p. 121-148, 2018.

Behling, L.; Pavão, D. B.; Alves, A. A. A.; Santos, B. L. B.; Tones, A. R. M. Eletrofloculação aplicada no tratamento de efluente lácteo: delineamento experimental e otimização de múltiplas respostas. 11º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, [S. l.], p. 3-13, 10, 2019.

Bittencourt, L. A.; Lima, A. A.; Schlindwein, C.; Banczek, E. P.; Furstenberger, C. B. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando técnica de eletrofloculação com diferentes eletrodos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *1* (1), 253-266, 2018.

Lee, S. Y., Gagnon, G. A. Review of the factors relevant to the design and operation of an electrocoagulation system for wastewater treatment. *Environmental reviews*, *22*(4), 421-429, 2014.

Marques, M. B. L. Construção de jardim filtrante (wetlands) como alternativa de tratamento de água cinza em uma propriedade rural do município de Ilha Solteira-SP.2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo. 56 f.

Strate, J. Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios. Lajeado, 83 p., 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Univates.Vieira, S. P.; Cavalcanti, A. P. Obtenção de novos materiais a partir as águas residuas da produção de biodiesel tratadas por eletrofloculação. *Revista CIATEC-UFP*, *9* (2), 28-36, 2017.