



184 - ELETROCOAGULAÇÃO COMO ETAPA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE ILHÉUS

Daiane Barbosa da Silva⁽¹⁾

Analista de Produção e Controle de Qualidade de Água, Supervisora de Tratamento de Água – Embasa - BA, Química Industrial (UEPB).

Lázaro Nunes dos Santos⁽²⁾

Assistente de Saneamento, Supervisor de Tratamento de Efluentes– Embasa – BA, Administração de Empresas (UESC).

Joilton Santos dos Nascimento⁽³⁾

Assistente de Saneamento, Supervisão de Tratamento de Água– Embasa – BA, Tecnólogo em Segurança do Trabalho (Uniasselvi)

Endereço⁽¹⁾: Av. Nações Unidas S/N – Centro - Itabuna - Bahia - CEP: 45600-124 - Brasil - Tel: +55 (73) 3214-4900 - e-mail: daiane.barbosa@embasa.ba.gov.br

RESUMO

As águas residuárias são caracterizadas como águas descartadas, pois já foram utilizadas para realização de um determinado objetivo, seja ele, residencial, comercial ou industrial. O tratamento a estes efluentes é de fundamental importância para garantir a saúde da população e a qualidade dos corpos receptores. Há outro aspecto de relevância, a possibilidade de reutilização do efluente tratado, pois sabemos da importância da água para o desenvolvimento e manutenção da agricultura, na atividade industrial e no próprio uso residencial. O tratamento de efluentes domésticos possui uma diversidade de alternativas, a exemplo de Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, lodos ativados, lagoas de estabilização, cada um alinhado a preceitos de economicidade, na questão de operacionalização e manutenção, e eficiência do processo, onde o principal foco é o atendimento ao regramento legal existente. O trabalho foi desenvolvido no sistema de esgotamento sanitário do município de Ilhéus – Ba, na Estação de Tratamento de Efluentes - ETE do Pontal. Ao efluente foi aplicado a técnica de Eletrocoagulação – EC, em bancada e em escala piloto, em seus diferentes estágios no sistema de tratamento, realizando coletas de alíquotas e avaliando a remoção de carga orgânica através da clarificação e da DBO, assim verificando a eficiência do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes domésticos em comparação aos sistemas de tratamentos anaeróbio e aeróbio existentes na presente ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente, Eletrocoagulação e Eficiência.

INTRODUÇÃO

Basicamente as águas residuais podem ser definidas como águas descartadas, pois já foram utilizadas para realização de um determinado fim, seja ele, residencial, comercial ou industrial. O tratamento a estes efluentes é de fundamental importância para garantir a saúde da população e a qualidade dos corpos receptores. Há outro aspecto de relevância, a possibilidade de reutilização do efluente tratado, pois sabemos da importância da água para o desenvolvimento e manutenção da agricultura, na atividade industrial e no próprio uso residencial. Atualmente o tratamento de efluentes domésticos possui uma diversidade de alternativas, a exemplo de Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, lodos ativados, lagoas de estabilização, cada um alinhado a preceitos de economicidade, na questão de operacionalização e manutenção, e eficiência do processo, onde o principal foco é o atendimento ao regramento legal existente.

Em um Brasil com aproximadamente 218 milhões de habitantes, 51,2% da população tem acesso ao tratamento de esgotamento sanitário, na região nordeste esse número decai para 35,5% do esgotamento, na Bahia este índice sobe para 48,2%.¹ Esse panorama advém de uma fragilidade histórica na regulação do saneamento básico no país, a qual foi mitigada pela lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007 e vem sofrendo significativas alterações até o marco regulatório do saneamento com a lei 14.026 de 15 de julho de 2020, bem como do crescimento desordenado das grandes cidades.

Os desafios de universalizar o esgotamento sanitário no Brasil perpassam pelos elevados custos de investimento para implantação das redes de coleta, transporte e Estações de Tratamento de Efluentes – ETE, a qualidade do efluente tratado, a qualidade e a quantidade de resíduo gerado na ETE e o lançamento deste em corpos hídricos.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento – Embasa por meio da Unidade Regional de Itabuna atende, com o serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento), a 11 (onze) localidades de um universo de 67 (sessenta e sete), assim representando um percentual de cobertura de esgoto de 16,42%. Analisando o panorama atual e correlacionando com o novo marco regulatório do saneamento, lei 14.026/2020, com meta de atingir 90% de cobertura e tratamento de esgoto até 31/12/2033, percebe-se que o desafio é imperativo – construção de novas malhas de redes coletoras, estações elevatórias e novas unidades de tratamento do efluente e seus resíduos. Há mais fatores que se tornam obstáculos, com o tipo da metodologia de tratamento definida, aeróbia ou anaeróbia, a necessidade de áreas disponíveis para alocação das novas unidades e/ou ampliação das existentes em perímetro urbano, condiciona o corpo técnico a busca de novas tecnologias que atenda às necessidades e promova o atingimento do objetivo central, que é a garantia da saúde dos indivíduos e do meio ambiente.

O processo de eletrocoagulação - EC tem atraído uma grande atenção no tratamento de efluentes industriais devido a sua versatilidade e compatibilidade ambiental. Esta técnica tem algumas vantagens quando comparada aos métodos tradicionais, tais como simplicidade de equipamento, facilidade de operação, menor tempo de retenção, ausência de adição de produtos químicos, rápida sedimentação dos flocos eletrogerados e menor produção de lodo².

A EC é muitas vezes referida na literatura como sinônimo de eletrofloculação⁸ ou eletroflotação^{9;10} alternativamente, alguns autores empregam a expressão EC/flotação^{11;12} com os termos associados. As diversas designações mencionadas remetem aos fenômenos físicos e químicos envolvidos no processo, que se inicia em uma célula eletroquímica, onde uma diferença de potencial é aplicada a eletrodos de metal, em geral ferro ou alumínio, imersos na solução eletrolítica a ser tratada¹³. No processo de eletrocoagulação, íons são produzidos *in situ* e isto envolve três estágios sucessivos: formação do coagulante pela oxidação eletrolítica do 'eletrodo de sacrifício', desestabilização dos contaminantes, suspensão das partículas e quebra de emulsões e, agregação das fases desestabilizadas para formar flocos. A água também é eletrolisada em uma reação paralela, produzindo pequenas bolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no catodo. Essas bolhas atraem as partículas floculadas e, por meio de flutuação natural, os poluentes floculados flutam até a superfície.³

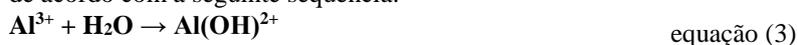
A eletrofloculação é a combinação dos processos de eletrocoagulação e eletroflotação, já que este processo consiste na geração de íons metálicos para a posterior formação do agente coagulante e a eletroflotação, na geração dos gases hidrogênio e oxigênio pela eletrólise da água.⁴

As reações que ocorrem durante a eletrocoagulação, utilizando eletrodos de alumínio são:



Segundo alguns autores,³ quando o potencial anódico é suficientemente alto, reações secundárias podem ocorrer, especialmente a evolução do oxigênio (Equação 3): $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

O consumo de energia P (kWh/m³) no processo de eletrofloculação é principalmente um resultado da eletrólise na célula eletrolítica, e é calculado assim: $P = U \times I / Q \times 1000$, onde U é a voltagem (Vdc), I é a corrente (A) e Q é a vazão (m³/h). A dosagem de alumínio, m (g/m³), é calculada pela Lei de Faraday da seguinte maneira: $m = (M \times I / Z \times F) / (3600 \times Q)$, onde M é a massa molar do alumínio (26,98 g/mol), z é sua valência (zAl = 3), e F é a constante de Faraday (9,65 x 10⁴ C/mol). Quando o valor da corrente é mantido o mesmo, uma diminuição na taxa de fluxo produz uma dose maior de alumínio por m³ de efluente. Isto é, para cada grupo de amostras com a mesma corrente e voltagem há um aumento da dosagem de alumínio quando a taxa de fluxo diminui. Se o fluxo de volume for elevado, maior quantidade de gás será mantido na água. Isto fornece uma flotação eficaz dos poluentes no tanque de flotação.⁵ Os íons alumínio (Al³⁺) produzidos pela dissolução eletrolítica do ânodo (Equação 1) sofrem imediatamente reações de hidrólise espontânea, o que gera várias espécies monoméricas de acordo com a seguinte sequência:



OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes domésticos em comparação aos sistemas de tratamentos anaeróbio e aeróbio existentes na Estação de Tratamento de Esgotos Ilhéus – Pontal, pertencente a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). Os objetivos específicos são:

- Avaliar em qual tratamento a técnica obtém melhor resultado, na fase primária, secundária ou terciária;
- Avaliar a remoção de sólidos pela aplicação da técnica.

METODOLOGIA

Os efluentes utilizados neste trabalho provem da ETE Pontal, localizada na rodovia Pontal – Buerarema, Km 3, na cidade de Ilhéus-Ba. A sua estrutura é composta de 04 (quatro) Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente – DAFA, seguido de lodos ativados – 02 (dois) tanques de aeração e 02 (dois) decantadores secundários, 01 (uma) unidade produtora de hipoclorito de sódio, para realização da desinfecção do efluente e 12 (doze) leitos de secagem para realização do desague do lodo oriundo do processo de tratamento.

O planejamento iniciou com uma pesquisa bibliográfica de modo a se fazer uma seleção dos fatores que influenciam no processo de eletrocoagulação e eliminar as variáveis não significativas, otimizando assim o trabalho em bancada.

Diversas bibliografias^{13,14,15} relacionam a célula eletrolítica e sua disposição, bem como os fatores e variáveis que influenciam no processo de eletrocoagulação, fizemos um levantamento destes a saber: tipo de resíduo, temperatura de reação, tempo de tratamento, faixa de pH, condutividade do eletrólito, distância entre os eletrodos, tensão elétrica, corrente elétrica e material dos eletrodos. Desta forma, fixou-se para este trabalho o material dos eletrodos (alumínio), as dimensões dos eletrodos (12 cm x 9 cm x 1 mm) e a corrente elétrica (1,8A).

Para os ensaios, foram fixadas duas etapas de aplicação da técnica de eletrocoagulação:

A primeira a ser realizada em volume pré-fixado, utilizando equipamento de jarr teste de três cubas da marca PoliControl (Brasil), empresa certificada pela ISO9001/2008-IEC, onde as cubas foram transformadas em reatores monopolar em batelada. No reator de acrílico com capacidade de 2 L, um par de eletrodos de alumínio, de dimensões supracitadas, foi inserido verticalmente e ligado a um regulador de tensão, o qual foi ligado a uma fonte alimentadora de corrente contínua. As placas de alumínio foram separadas por um espaçador de plástico. Na Figura 1 é exibido o sistema experimental utilizado. As variáveis do ensaio são: distância entre os eletrodos, a fonte do efluente, tensão, tempo e velocidade de agitação, conforme Tabela 1. Ensaios de DQO serão realizados para avaliar a eficiência do processo.

Para a segunda fase foram definidas duas faixas de vazão para a aplicação em fluxo contínuo aplicados em uma ETE Piloto projetada em acrílico, conforme esquema descrito na Figura 2, a qual compõe um recipiente de efluente bruto com capacidade de 20L, reator de eletrocoagulação (fabricado em acrílico, com capacidade de 2 L, utilizando dois pares de eletrodos de alumínio de dimensões supracitadas e fixação da distância entre os eletrodos separados por um espaçador de plástico e fonte do efluente, obtidos através do melhor resultado da primeira etapa, foi inserido verticalmente e ligado a um regulador de tensão, o qual foi ligado a uma fonte alimentadora de corrente contínua, conforme Figura 3), UASB com capacidade de 14L, filtro de carvão Antracito e recipiente de efluente tratado de 2L, com a variação de vazão e tensão, ver Tabela 2.

Tabela 1: Parâmetros variáveis da Primeira Etapa

PARÂMETROS	VALORES	UNIDADE
Distância entre os eletrodos	3; 4; 5	Cm
Tempo de Agitação	5; 10; 15	Segundos
Velocidade de Agitação	120; 170; 200	RPM
Tensão	14;16,5;18	Volts
Fonte do Efluente	Entrada da ETE; Saída DAFA's; Saída Decantador	Litros

Tabela 2: Parâmetros variáveis da Segunda Etapa

PARÂMETROS	VALORES	UNIDADE
Vazão	10;14; 37	L/H
Tensão	14;15,5; 16,5	Volts

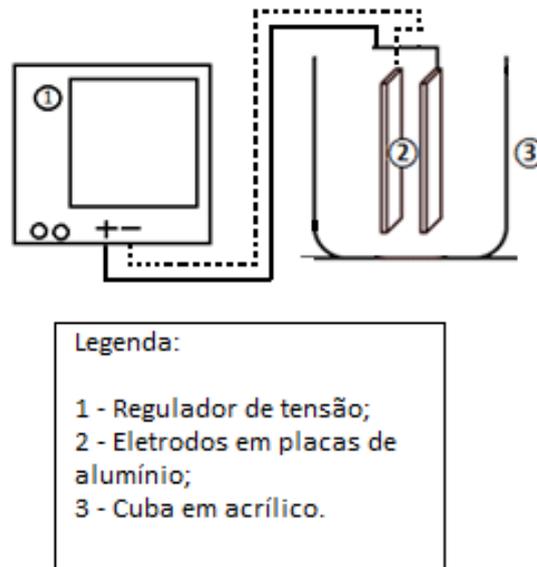


Figura 1: Disposição dos eletrodos de alumínio e equipamento de regulador de tensão.

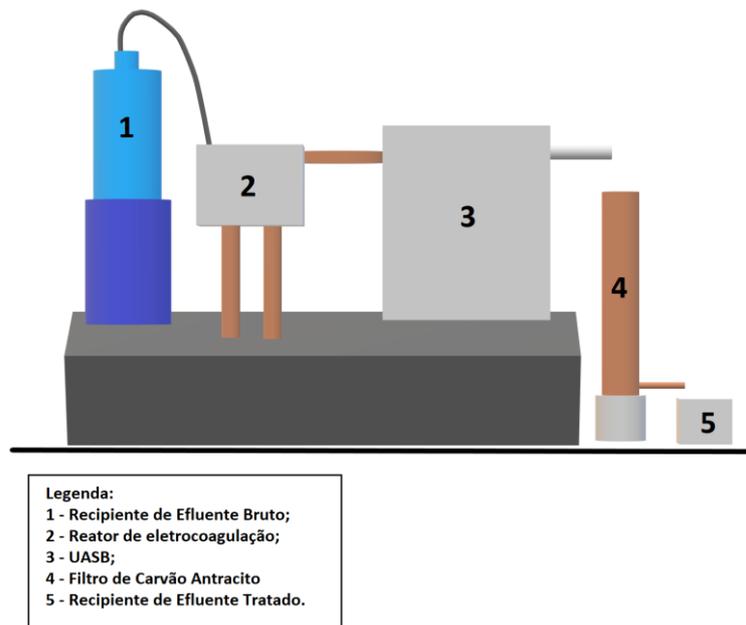


Figura 2: Esquema da ETE piloto.

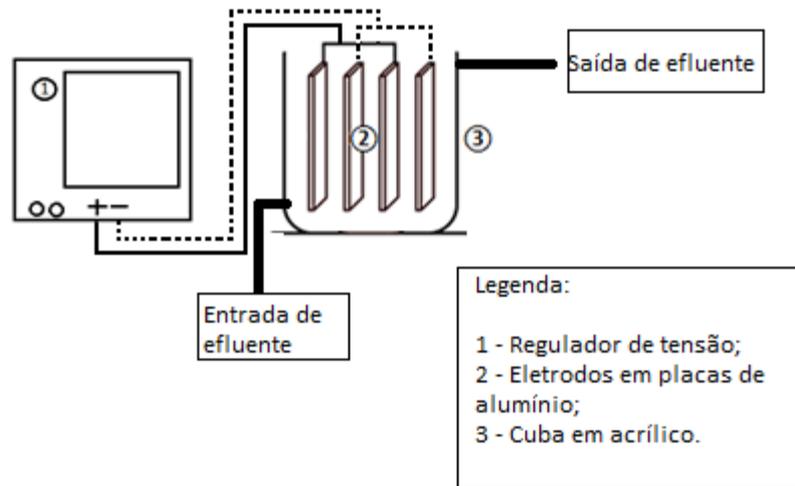


Figura 3: Reator de eletrocoagulação da ETE piloto.

As análises físico-químicas realizadas nos efluentes tratado e bruto foram pH, Cor e DBO. Para medir o pH realizou-se medição instrumental utilizando o pH-metro de bancada Thermo Scientific Orion Star A215. A cor foi realizada utilizando o colorímetro visual com faixa de 0 – 500 UC, marca policontrol e DBO pelo método 5 dias., descrito no Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater.⁷

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa dos ensaios a amostra de efluente de esgoto doméstico urbano na chegada da ETE Pontal, Saída dos DAFA's e Saída dos decantadores foram submetidas ao processo de eletrocoagulação, empregando-se placa de alumínio. Aplicou-se tensão inicial de 15,5V e corrente elétrica de 1,8A para cada reator de 2L, as distâncias de separação dos eletrodos foram de 3,4 e 5 cm, aplicando uma rotação de 200 rpm no primeiro instante, reduzindo para 170 rpm após 5 min e para 120 rpm após 5 min, determinando-se a cor em alíquotas de 30mL ao final de 15 minutos de reação, comparativo do início e fim na Figura 4, definindo assim a melhor distância entre as placas de 3cm como demonstra resultados dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado da clarificação após 15 minutos no reator

Tipo de efluente	Distância das Placas	Cor no início (UC)	Cor no final (UC)
Entrada da ETE	3 cm	180	40
	4 cm	180	70
	5 cm	180	80
Saída dos DAFA's	3 cm	80	35
	4 cm	80	40
	5 cm	80	50
Saída dos decantadores	3 cm	70	25
	4 cm	70	30
	5 cm	70	40

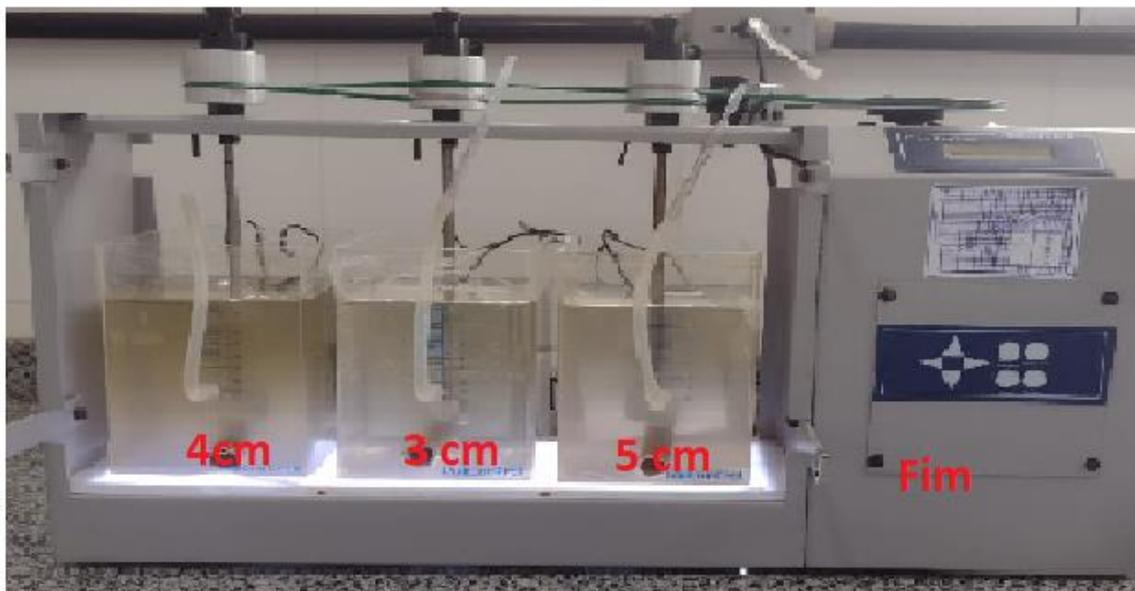
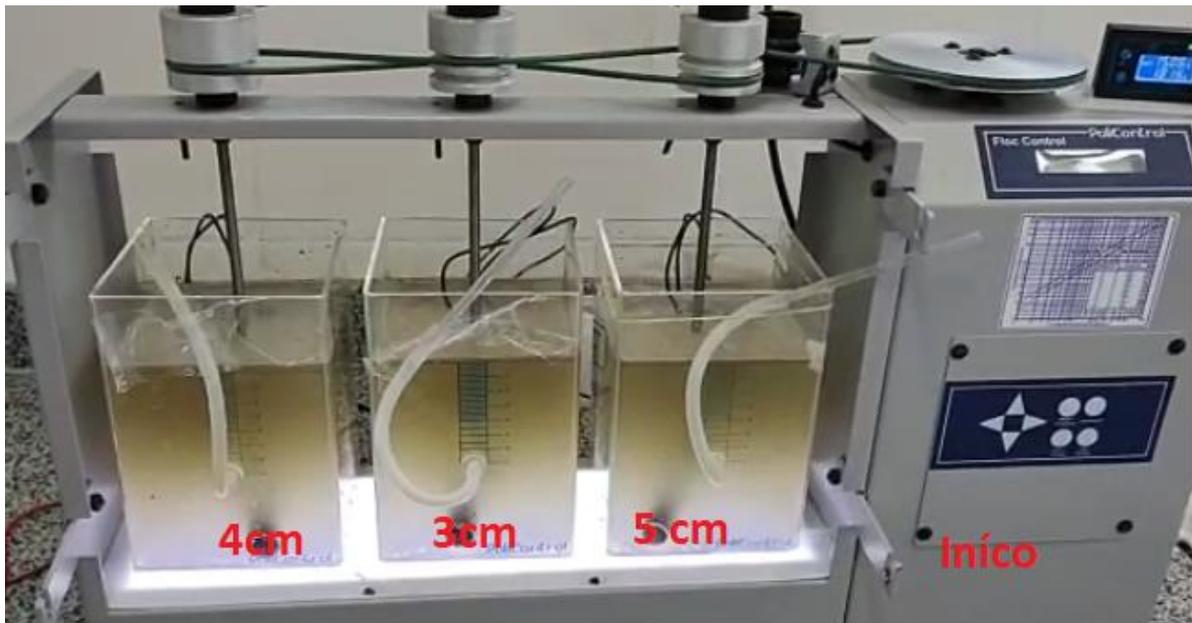


Figura 4: Início e fim do processo de eletrocoagulação utilizando 3,4 e 5cm de distância entre as placas de alumínio.

Com a observação do comportamento da EC/flotação durante a primeira batelada para cada tipo de efluente, manteve-se a tensão de 15,5V e a distância de 3 cm entre as placas e rotação de 120 rpm, variando-se o tempo em 5,10 e 15 minutos, Figuras 5, determinando-se a cor em alíquotas de 30mL ao final de cada tempo, descrito os resultados na Tabela 4.

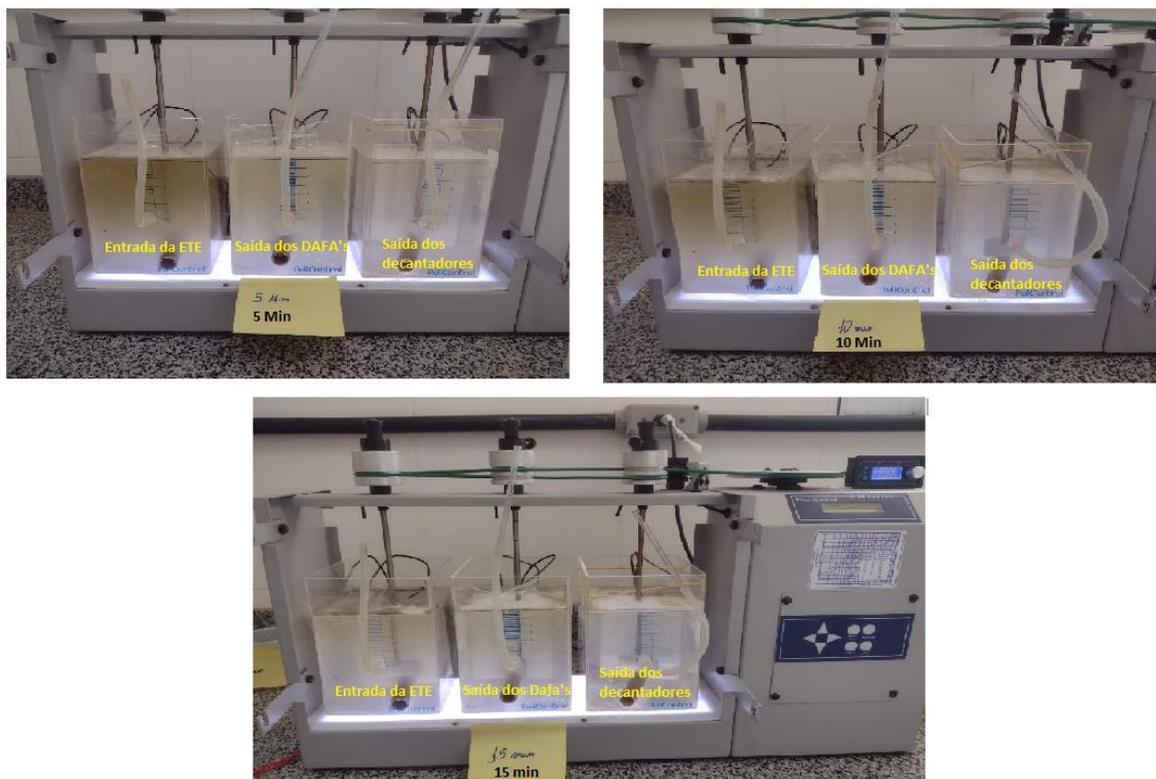


Figura 5: Início e fim do processo EC utilizando 5, 10 e 15 minutos de tempo de reação.

Tabela 4: Resultado da clarificação após os tempos de 5, 10 e 15 minutos no reator

Tipo de efluente	Tempo no reator (min)	Cor no final (UC)
Entrada da ETE	5	90
	10	70
	15	35
Saída dos DAFA's	5	60
	10	45
	15	35
Saída dos decantadores	5	35
	10	25
	15	20

Pelos resultados apresentados, houve melhora ao se fixar uma velocidade de rotação no reator e que quanto maior o tempo de reação para o efluente com maior quantidade de sólidos, melhor o resultado, porém quanto menor a quantidade de sólidos o percentual de remoção decai.

Visando avaliar a remoção da carga orgânica pela EC, após o tempo de reação de 6 min com o reator operando com os eletrodos em placa de alumínio distanciados em 3cm, com velocidade de agitação em 120 rpm, tensão de 15,5 V e corrente elétrica de 1,8 A, foram coletadas alíquotas de aproximadamente 3000 mL, com resultados apresentadas na Tabela 5. Realizando a avaliação dos resultados é possível inferir que a intercalação da EC nas fases já existentes de uma ETE convencional melhora significativamente a remoção da carga orgânica, mesmo para um intervalo curto de reação, sendo mais eficiente sua aplicação para a redução na entrada do efluente na ETE.

Tabela 6: Comparativo entre os resultados de DBO para o tratamento na ETE Pontal em relação ao EC com 6 min de reator.

Tipo de efluente	DBO antes da EC	DBO depois da EC	% de remoção
Entrada da ETE	363,1	49,1	86%
Saída dos DAFA's	32,7	18,7	43%
Saída dos decantadores	10,6	8,9	16%

Para a segunda etapa utilizou o efluente com maior redução de carga orgânica após a EC, ou seja, o efluente de entrada na ETE, nos ensaios foi observado que com o aumento da vazão houve a necessidade de redução da tensão aplicada, pois estava fechando curto no reator, tal situação necessita de avaliações futuras para identificação das causas. Foram testadas as vazões de 10, 14 e 37 L/H com o arranjo das tensões 14, 15,5 e 16,5V para um efluente na entrada com 300 UC, obtendo a configuração ótima de 37 L/H, 14V e 1,8A, utilizando dois pares de eletrodos em placa de Alumínio, coletando alíquotas durante o circuito e realizando análise de cor, valores apresentados na Tabela 6, de forma demonstrativa foi colocado em série as alíquotas para melhor visualização da clarificação do efluente no processo da ETE Piloto, conforme Figura 7.

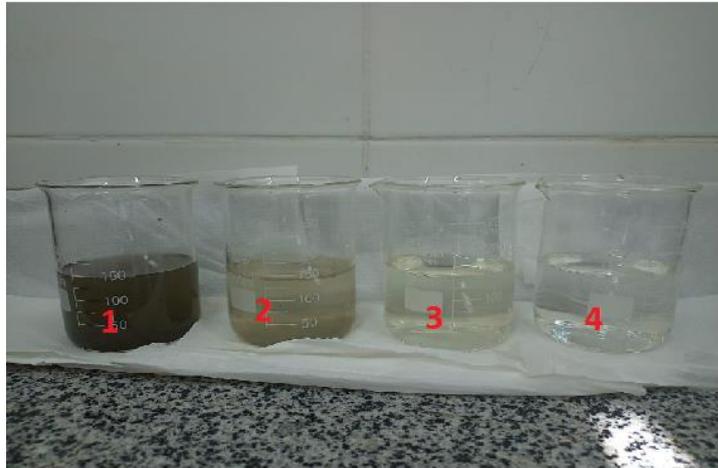
Na Figura 6 é possível verificar a disposição do sistema após início da operação, foi observado durante a operação que não houve depósito de sólidos no UASB e uma produção média de espuma de 2,7% em volume do total do volume tratado, uma alíquota de 500 mL de espuma foi disposta no leito de secagem e permaneceu durante 24 horas, foi recolhida e aferido novamente seu volume que passou a ser de 40 mL, tendo uma redução de 92% após esse período de desidratação. O efluente na saída do UASB apresentava odor elevado, necessitando de um processo de remoção de odor, então houve o acoplamento de um filtro de carvão antracito no sistema com altura de camada de 60 cm e diâmetro de 60mm, tendo o efluente de saída sem a presença de odores para a vazão testada.



Figura 6: Piloto da Estação de Tratamento de Efluente com EC.

Tabela 7: Resultados da clarificação nas etapas a ETE Piloto com EC.

Tipo de efluente	Cor (UC)
Entrada da ETE	300
Saída do reator	70
Saída do UASB	30
Saída do filtro de carvão	10



Legenda

- 1- Efluente na Entada da ETE;**
- 2- Efluente na saída do Reator;**
- 3- Efluente na saída do UASB;**
- 4- Efluente na saída do filtro de carvão.**

Figura 7: Demonstração da sequência de clarificação na ETE Piloto.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados para a clarificação do efluente da ETE Pontal em Ilhéus, no presente trabalho, fica certificado que a técnica de Eletrocoagulação – EC é suficiente para a remoção de uma grande quantidade de carga orgânica do efluente doméstico em curto período de tempo, tanto em bancada, quanto em escala piloto.

Os sólidos presentes na amostra são flotados, em sua maioria, no próprio reator, gerando espuma fluidificada, a qual tem um percentual elevado de desidratação e representa uma pequena parte do volume tratado, sendo assim uma opção para a redução significativa dos resíduos gerados no processo de tratamento.

Os tempos de reator utilizados nos ensaios não foram suficientes para remoção de odores, levando à necessidade utilização de filtro de carvão, porém o autor¹⁵ relata diversos autores que obtiveram elevados aumentos de teores de oxigênio dissolvido com o uso da EC, o que pode impelir que com a continuidade do estudo da aplicação em fluxo contínuo haverá bons resultados na remoção deste parâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TRATA BRASIL, Instituto, Saneamento é Saúde. Disponível em : <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto/>. Acesso em: 2 abr, 2023.
2. KOBYA, M.; HIZ, H.; SENTURK, E.; AYDINER, C.; DEMIRBAS, E.; *Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation Desalination* p. 190, 201, 2006.

3. MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials*, v. B114, p. 199, 2004.
4. RUBACH, S.; SAUR, I. F.: *Onshore Testing of Produced Water by Electroflocculation Filtration & Separation*, v.34, n.8, p. 34, 877, 1997.
5. JIANG, J.Q., GRAHAM, N. J. D. *Observations of the Comparative Hydrolysis/Precipitation Behaviour of Polyferric Sulphate and Ferric Sulphate. Water Research*, v.32, n.3, p. 930-935, 1998.
6. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. *Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. Journal of the Institution of Engineering (India), Part EN: Environmental Engineering Division*, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
7. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.*, Washington, 1995.
8. CHEN, G. *Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology*, p.38,11. 2004.
9. CRESPILO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. *Química Nova*, p. 27,328, 2004.
10. MURUGANANTHAN, M.; RAJU, G. B.; PRABHAKAR, S. *Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. Journal of Hazardous Materials*, B109, 37. 2004.
11. MENESES, J. M.; VASCONCELOS, R. F., FERNANDES, T. F.; ARAÚJO, G. T. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. *Química Nova*, p.35, 235. 2012.
12. EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M. *Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. Journal of Environmental Management*, 90, 1663. 2009.
13. AVELLAR, I. G. J.;* COTTA, T. A. P. G.; NEDER, A. V. F. Aplicação de Eletrocoagulação na Remoção de Fosfatos em Efluente Doméstico Artificial Preparado a Partir de Bebida Refrigerante - Um Experimento para Graduação, *Rev. Virtual Quim.*, p.3. 2015.
14. MENEZES J.M., VASCONCELOS R.F., FERNANDES T.F. E ARAUJO G.T. Tratamento do Efluente do Biodiesel utilizando d eletrocoagulação/Flotação: Investigação dos Parâmetros Operacionais. *Quim. Nova*, Vol. 35, No. 2, 235-240, 2012.
15. ROMERO J.A.P. Eletroflotação aplicada ao tratamento de esgotamento sanitário, 2009. Dissertação de mestrado-Instituto de Química-Universidade de São Paulo, p. 38,40,41.2009.