

III-463 - APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ELETRÓLISE NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Rafael Vinicius Rodrigues⁽¹⁾

Técnico em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT). Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Bruna Pereira Leite

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Felipe Matheus Ferdinando de Santana

Técnico em Alimentos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Laerte Pinheiro

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela USP. Professor da Universidade Federal de Mato Grosso.

Marciely Ferreira Alves

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Endereço⁽¹⁾: Avenida José Estevão Torquato da Silva, Condomínio Jardim Vitória B, 138 – Jardim Vitória - Cuiabá - MT - CEP: 78055-731 - Brasil - Tel: (65) 9226-0027 - e-mail: rafael.vinicius@live.com

RESUMO

O lixiviado gerado em aterros sanitários é um efluente com grande variabilidade de características, em sua composição estão presentes altas concentrações de compostos e substâncias recalcitrantes de difícil degradabilidade, além de contaminantes microbiológicos com alto potencial nocivo, tornando-se um efluente altamente tóxico e de difícil tratamento. Tendo como base a constatação da nocividade do chorume ou lixiviado, procedeu-se o estudo do tratamento eletroquímico através da construção de um reator em escala de bancada, para um sistema de tratamento utilizando-se especificamente eletroflotação e eletrocoagulação. A coleta de amostras de lixiviado foi realizada no antigo aterro sanitário de Cuiabá – MT, e foram feitas as análises de parâmetros à sofrerem redução, sendo estes, a cor aparente, turbidez e DQO. O processo de eletrocoagulação e eletroflotação foi realizado em quatro experimentos com 200 mL da amostra cada, onde a intensidade de corrente utilizada foi de 1 ampère (A), para 15 minutos, 20 minutos, 25 minutos e 25 minutos com adição de NaCl. O sistema de tratamento eletrolítico foi eficaz para remoção de DQO, cor e turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Chorume, Eletroflotação, Eletrocoagulação, Eletrólise, Lixiviado.

INTRODUÇÃO

As migrações do homem para as cidades tornaram-nas núcleos urbanos cada vez maiores, e com o advento de novas tecnologias, é constante e crescente a geração de resíduo sólido de características diversas, podendo ser mais ou menos poluente, com maior ou menor volume, variando quanto sua periculosidade, toxicidade e características do local da geração.

O crescimento populacional desenfreado seguido de uma falta de planejamento é um dos fatores que contribuem para o agravamento deste problema, que tende a aumentar cada vez mais, tendo em vista a carência de espaços físicos para a destinação final de resíduos e seu alto potencial poluidor, contribuindo para a degradação do meio ambiente (TOBA, 2012).

O aterro sanitário é o método ambientalmente mais aceitável para a evacuação dos resíduos porque dispõe além de outros itens, sistema de coleta e sistema de tratamento de chorume e de gás de aterro. O tratamento do chorume é um dos desafios nos projetos de aterros sanitários em função da variabilidade de sua composição e não existem processos economicamente viáveis que permitam reduzir os parâmetros ambientais relevantes da matriz de chorume (BAHÉ, 2012).

Segundo Wiszniowski (2006); Kjeldsen (2002) apud CASTRO et al, (2012), o lixiviado encontrado em aterros de resíduos sólidos urbanos é um líquido resultante da interação entre o processo de biodegradação da fração

orgânica de resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos, que apresenta cor escura e alto potencial de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, apresenta composição variada dependendo da idade do aterro sanitário, do grau de estabilização e características do material sólido aterrado e do regime de chuvas.

O processo de tratamento do chorume, como é chamado o lixiviado, é de suma importância para evitar riscos ao meio ambiente. Diversos tipos de tratamento são utilizados para a degradação da matéria orgânica presente neste tipo de efluente, desde os mais convencionais (como lagoas de estabilização e lagoas facultativas, por exemplo) aos mais avançados (como processo oxidativos avançados, por exemplo). Os fatores que torna complexa a tratabilidade do chorume é sua baixa biodegradabilidade, o que dificulta seu tratamento por sistemas convencionais (TOBA, 2012).

Os bons resultados obtidos em trabalhos realizados nos últimos anos quanto à eficiência de remoção obtida sem a adição de produtos químicos, apenas utilizando-se eletrodos ativos, e as diversas possibilidades do processo, fazem com que o tratamento eletrolítico apresente grande potencial para desenvolvimento de uma alternativa de tratamento do lixiviado de aterros sanitários. O uso da eletrocoagulação/eletroflotação é destacado de outros processos físico-químicos também por requerer baixo tempo de detenção e possuir mecanismos mais simplificados que os tratamentos convencionais (Mollah et al., 2001).

Frente às dificuldades quanto à tratabilidade do lixiviado produzido em aterros sanitários, principalmente os de grande porte, que geram altos volumes de efluentes, observa-se na indústria a busca de alternativas quanto às técnicas que venham sanar as questões que envolvem o tratamento de lixiviados, com menor tempo e com menor custo. Diante disso, o tratamento de lixiviado por eletrólise vem sendo muito utilizado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tomando como base a tipologia de Vergara (1998, apud BRAGA; COSTA & MERLO, 2006, p.7), que classifica as pesquisas quanto aos fins e aos meios, pode-se classificar este estudo como uma pesquisa descritiva qualitativa, quanto aos fins, e como uma pesquisa bibliográfica e de campo laboratorial, quanto aos meios.

As análises quanto às características físico-químicas do lixiviado, foram realizadas no Laboratório de Físico Química do DESA (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental), orientados pelo técnico laboratorial Jonas dos Santos.

A coleta foi realizada na manhã do dia 23 de julho de 2014, obedecendo as metodologias de coleta e análise do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; “Roteiro de Análises físicas, químicas e microbiológicas”, “Manual de Rotinas Laboratoriais para efluentes domésticos” e “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras”, os quais são baseados pela APHA (1998), ANA (2011) e CETESB (2011).

A mesma foi mantida refrigerada à uma temperatura inferior a 10°C durante o período máximo de 24 horas. Fez-se a caracterização de alguns parâmetros de interesse no momento, quanto às características físico-químicas do efluente recolhido. Através da determinação dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cor, condutividade, turbidez e pH.

Tais parâmetros foram elencados para análise devido aos mesmos enfocarem quanto ao objetivo do trabalho, que foi a análise da redução de cor aparente, DQO e turbidez, após à aplicação do tratamento eletrolítico.

Foram coletados cinco litros de lixiviados do tanque, subdivididos em cinco amostras, contendo um litro em cada uma delas. As amostras foram armazenadas em uma caixa térmica limpa e apropriada para que elas se mantivessem conservadas.

A concepção do tratamento eletrolítico nesta pesquisa consistiu na execução do tratamento visando o tipo de amostra utilizada (com adição de NaCl e sem adição) e o tempo que cada amostra foi exposta ao tratamento. Portanto, foi operado um reator eletrolítico em modo batelada, em escala de bancada, testando-se a eficiência do tratamento primário através de eletrólise, durante o tempo pré-estabelecido, conforme o Tabela 1.

Tabela 1 – Materiais e variações do lixiviados usados
Reator Eletrolítico como tratamento primário de lixiviados

Materiais	Variações do Efluente
- 6 eletrodos de Alumínio	- Lixiviado bruto por 15 minutos (200 ml)
- 1 recipiente (cubo) de vidro	- Lixiviado bruto por 20 minutos (200 ml)
- 1 fonte geradora de energia	- Lixiviado bruto por 25 minutos (200 ml)
	- Lixiviado bruto com adição de NaCl por 25 minutos (200ml)

DESCRIÇÃO DO SISTEMA APLICADO

O sistema eletrolítico testado era composto por um reator de vidro que possuía uma capacidade de tratamento de 300 mL de efluente, sendo 12 cm de comprimento, 5 cm de largura e 10 cm de altura. A alimentação do sistema foi promovida por uma fonte de conversão DC com intensidade de corrente nominal de 1 Ampère. Foram utilizados ainda seis eletrodos de alumínio dispostos perpendicularmente ao fundo do reator e fixados em sua base e na lateral interna do reator, com espaçamento entre eles de 1 cm. Os eletrodos possuíam dimensões de: 5 cm de largura, 7 cm de altura e espessura de 1 mm. A escolha desse material (alumínio) se deu pelo baixo custo do mesmo e por ser mais facilmente trabalhável.

O tempo de detenção do tratamento foi definido em quatro etapas: dois processos com tratamentos de vinte e cinco minutos, sendo um com a adição de NaCl, e outro sem a presença do mesmo, um processo com duração de tratamento de vinte minutos e um com quinze minutos de tratamento. O reator eletrolítico foi operado com as conexões em paralelo, assim como os arranjos das ligações dos eletrodos.

As placas foram posicionadas dentro do reator com o auxílio de suportes de vidro com aberturas onde as placas foram fixadas. Suportes localizavam-se no fundo do reator e outras auxiliavam a posição das placas na parede interna do reator, como se observa na Figura 1.



Figura 1 - Reator de vidro com placas de alumínio e fonte alimentadora



Figura 2 - Reator com placas de alumínio e posição dos ganchos em operação.

ACIONAMENTO DO CIRCUITO E COLETA DAS AMOSTRAS

Após o enchimento do reator, a fonte de alimentação foi ligada às placas por meio de um circuito elétrico, composto de garras e fiação própria para a passagem da corrente aplicada ao sistema. O circuito em questão foi então acionado de acordo com o esquema representado na Figura 2. Pode-se observar que os eletrodos ficavam conectados à fonte alimentadora durante o tratamento.

Para o monitoramento do tratamento proposto foi determinada a coleta de amostras ao finalizar das aplicações de corrente em função do tempo, totalizando quatro amostras. Ao coletar as amostras após o tratamento eletrolítico, teve-se o cuidado de coletar somente o líquido sobrenadante de interesse para análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como o processo eletrolítico é considerado um tratamento primário, o seu objetivo é redução de parâmetros mais grosseiros como a cor, turbidez e DQO. Dessa forma, o Quadro 2 apresenta um panorama geral dos valores obtidos em cada parâmetro.

Tabela 2 – Panorama dos dados obtidos do experimento.

PARÂMETRO	Chorume Bruto	Tratado (15min)	Tratado (20min)	Tratado (25min)	Tratado (25min+NaCl)
Temperatura (°C)	27	24	23	24	24
pH	8,5	8,2	8,1	7,9	9,4
Cor (mg.L ⁻¹ PtCO)	6.900	4.700	2.800	1.400	1.000
Turbidez (NTU)	566	118	56	42	33
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	9.150	8.530	8.340	8.040	17.460
DQO (mg.L ⁻¹)	24.100	6.973	6.180	5.560	6.646

No parâmetro DQO foi realizado o estudo em triplicata e foram feitas médias aritméticas, com exceção da amostra do chorume bruto, que possui um *outlier* muito inferior aos demais, para isso fez-se média apenas das duas primeiras amostras (Figura 3).

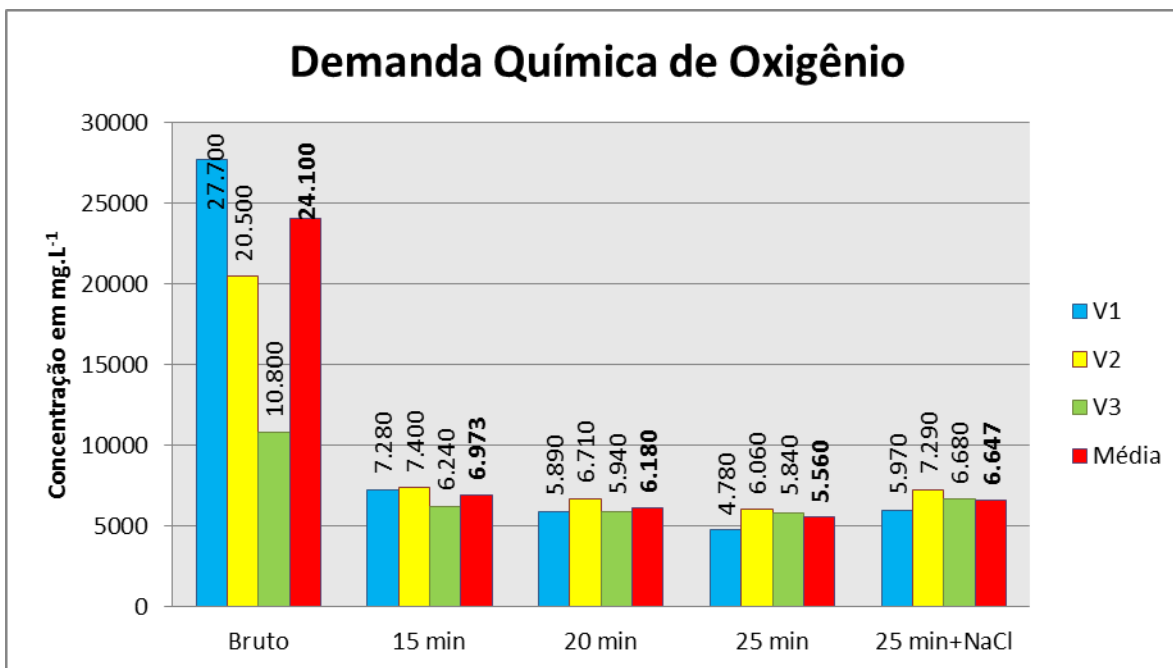


Figura 3 - Concentração de DQO nas amostras analisadas.

Quanto ao parâmetro DQO, percebe-se que houve um decréscimo considerável. Todavia, era esperado que na amostra em que foi adicionado NaCl teria maior redução da carga orgânica e isso não foi observado, pois em comparação com a amostra que também foi aplicado o tratamento durante 25 minutos, porém sem adição de NaCl, foi apresentado valor inferior de redução. A que continha NaCl diluído apresentou DQO final igual a 6.647 mg.L⁻¹, enquanto a que não tinha apresentou 5.560 mg.L⁻¹ de oxigênio. A possível explicação é que possam ter ocorrido erros no laboratório que interferiram no resultado, pois quanto maior for a concentração de íons na solução, maior é a oxidação da matéria orgânica. Como a inclusão do NaCl não é primordial para o tratamento, mas melhora muito a eficiência nos outros parâmetros, é recomendável que os procedimentos sejam repetidos para validação dessa conclusão.

Bidoia et al. (1997) testaram a capacidade de remoção de matéria orgânica de amostras de efluente de uma indústria liofilizadora de condimentos e obtiveram um resultado expressivo com uma remoção de cerca de 80% de DQO após 30 minutos de eletrólise. Nesta pesquisa, a eficiência de redução deste parâmetro na amostra sem NaCl foi de 77% e com NaCl 72,45%. Isto significa que com uma maior intensidade de corrente e diminuição do tempo, mantém-se boa eficiência de remoção de contaminantes. Dessa forma podem-se construir estações de tratamento de chorume de tamanho reduzido em relação às estações de tratamento convencionais.

A turbidez é muito influenciada pela DQO, pois a carga orgânica pode estar presente em suspensão no chorume. A Figura 4 apresenta a relação da variação da turbidez em função da variação da DQO. Analisando o gráfico, pode-se perceber que a turbidez é elevada conforme a DQO. Essa relação é direta. Entretanto, no chorume tratado a 25 minutos e adicionado NaCl a relação não é a mesma, isso se deve ao fato de introdução de íons na amostra que alteram a sua capacidade de conduzir a luz.

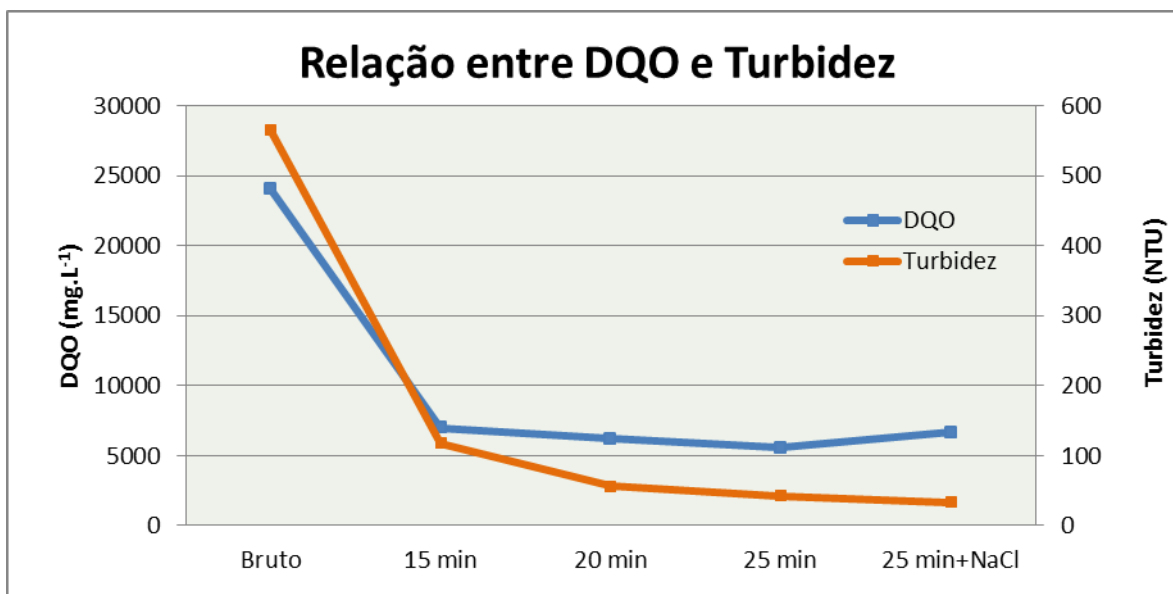


Figura 4 - Relação entre DQO e Turbidez

A demanda química de oxigênio em poucas palavras “é uma medida do oxigênio equivalente do conteúdo de matéria orgânica de uma amostra que é passível de oxidação por um forte oxidante químico” (CETESB, 2011), sendo que essa oxidação é proporcional à quantidade de íons presentes no meio. E a eficiência na redução da DQO está diretamente ligada a diversos fatores, como a distância entre os eletrodos, já que ela influencia no tempo e eficácia em que os elétrons movimentam-se, acarretando na dissociação iônica da matéria orgânica.

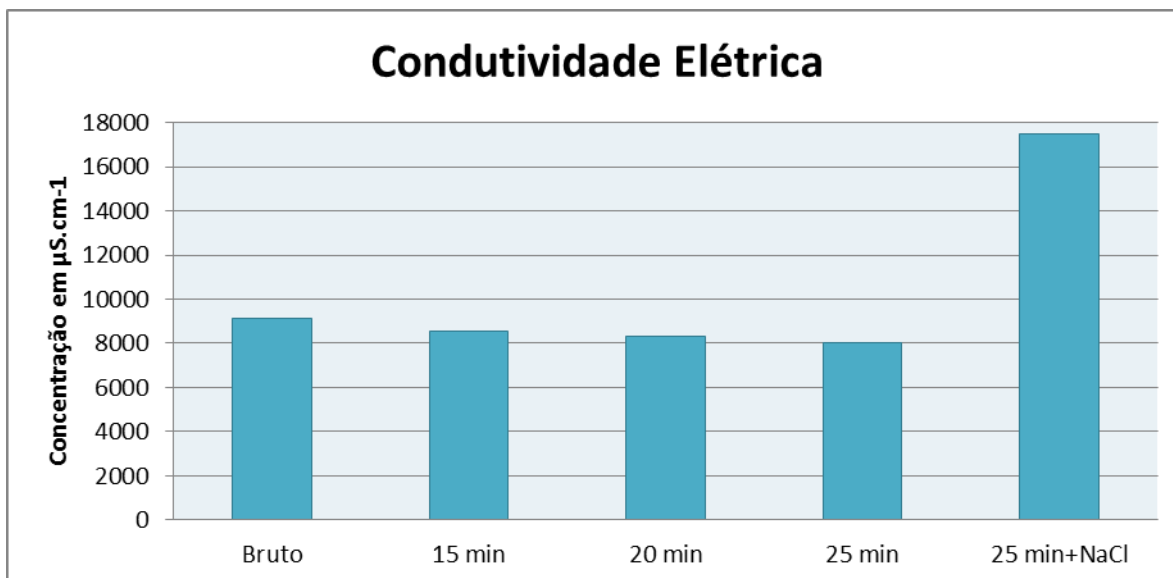


Figura 5 - Variação da condutividade em função do tempo de tratamento

Na Figura 5, observa-se que houve uma diminuição da condutividade elétrica no lixiviado tratado. O bruto apresentou $9.150 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e conforme o tempo de tratamento aumentou, a condutividade foi sendo reduzida, chegando a um valor igual a $8.040 \mu\text{S.cm}^{-1}$ no tratamento com tempo de 25 minutos de exposição.

"A adição de sal NaCl é empregada, geralmente, para o aumento da condutividade do efluente a ser tratado por eletroflotação" (Crespilho e Rezende, 2004). Este aumento da condutividade seria responsável por um aumento da eficiência do processo, uma vez que haveria uma otimização de parâmetros para a geração de microbolhas. Além de sua contribuição iônica, os íons cloreto poderiam reduzir alguns efeitos de outros ânions como carbonatos e sulfatos. Visando isso, pode ter ocorrido residual de NaCl, por isso a condutividade resultou em $17.460 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (Figura 6).

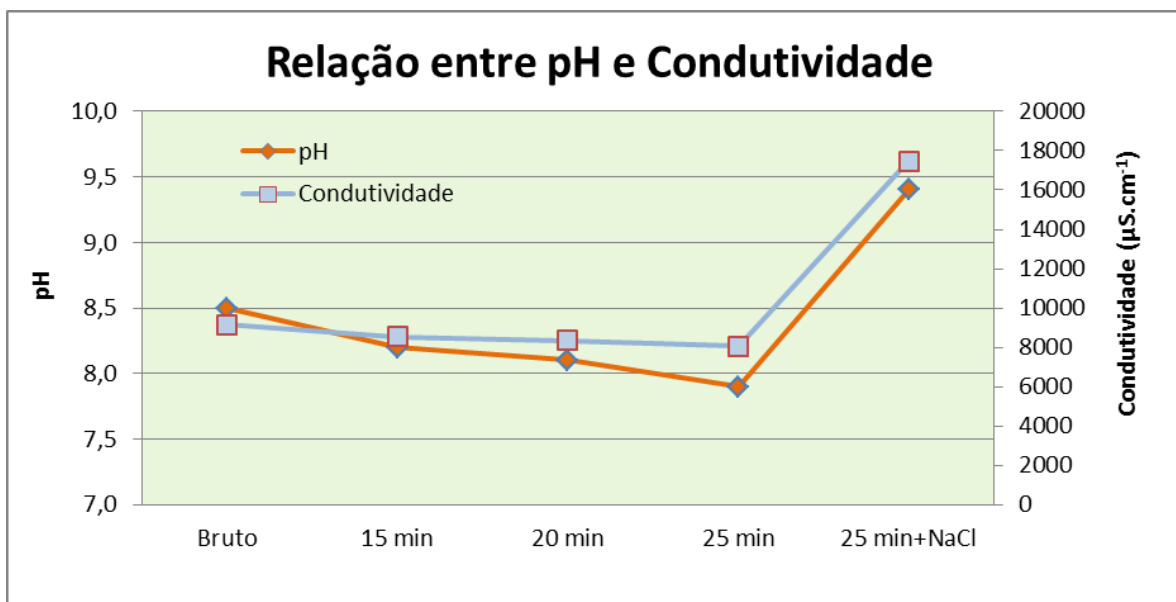


Figura 6 - Variação da Condutividade em função da variação ao pH.

O pH tem relação direta com a condutividade, quando um aumenta, o outro tende a seguir o mesmo caminho; o inverso também é válido. Uma hipótese que poderia explicar este fato seria a migração dos íons em direção aos eletrodos (cátodo e ânodo), diminuindo a concentração dos mesmos na solução, acarretando nessa pequena diminuição da condutividade da solução. Outra hipótese que poderia explicar o ocorrido seria a agitação

mecânica ineficiente da solução, resultando em uma precipitação indesejada dos íons, e reduzindo, assim, a concentração dos mesmos na solução e, consequentemente, a condutividade desta.

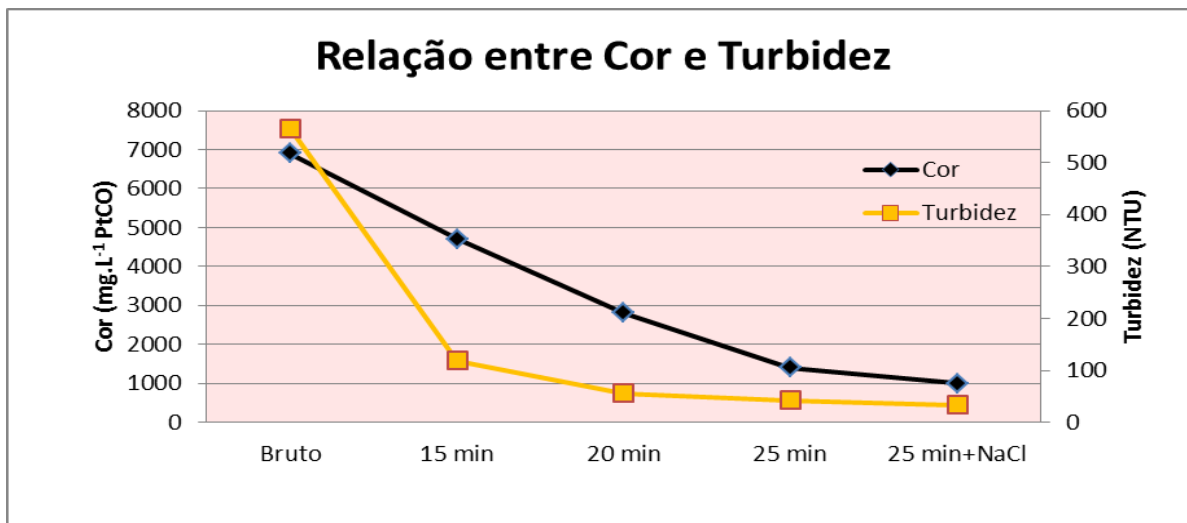


Figura 7 - Variação da cor em função da turbidez.

Na Figura 7, a relação entre cor e turbidez é direta, as duas são parâmetros inter-relacionados. A eficiência de remoção da cor foi cerca de 85,5%, enquanto que a turbidez foi 94,17%. Esse valor é condizente com a literatura: "Os resultados indicaram que houve boa remoção de contaminantes utilizando eletrodos de alumínio e ferro, Para remoção de DQO (Al 63% e Fe 58%), cor (Al 89% e Fe 93%) e turbidez (Al 99% e Fe 98%)" (CERQUEIRA, 2006).



Figura 8 - Tratamento eletrolítico sendo aplicado na amostra.

Conforme previsto na revisão bibliográfica, durante o processo de tratamento do lixiviado há a formação de micro bolhas, que tem por objetivo levar a matéria orgânica até a superfície. Essas bolhas são compostas por gás hidrogênio provenientes da dissociação química. A Figura 8 demonstra tal processo, enquanto que a Figura 9 mostra o produto gerado.

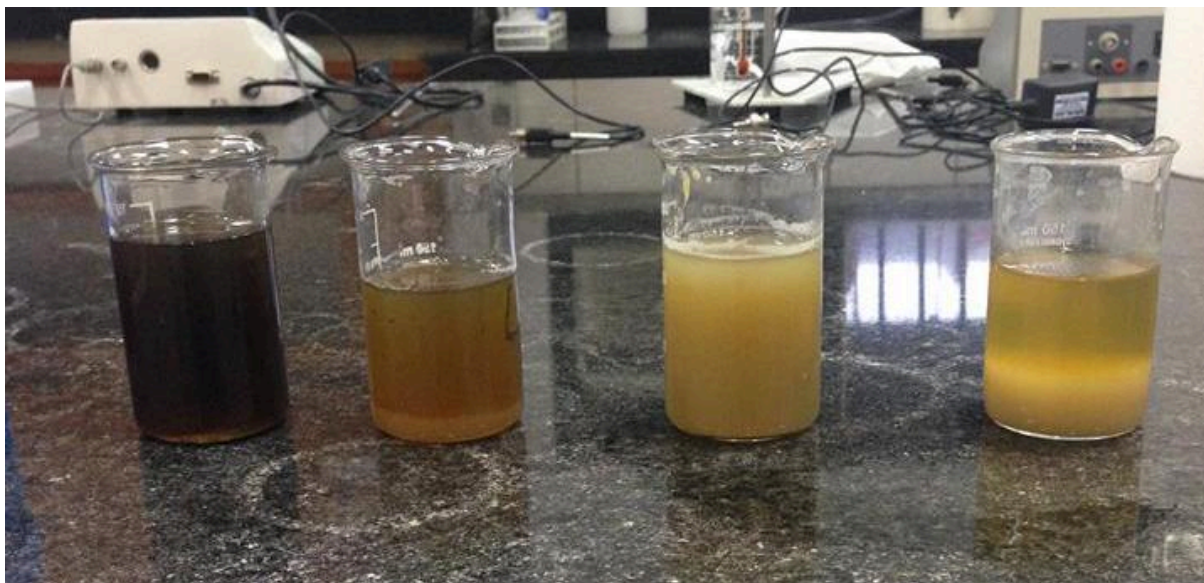


Figura 9 - Resultado do tratamento, da esquerda para direita: bruto, 15 min, 20 min e 25 min.

Para o tratamento prosseguir, deve-se considerar apenas o líquido decantado. No fundo de cada recipiente, houve a formação de uma camada de material precipitado das reações, tal camada constitui uma espécie de lodo. Por ser sólido, ele pode ser descartado em um aterro sanitário, que é de onde ela veio.

Foi observado que no produto da eletrólise na amostra com NaCl teve grande formação de precipitados, todavia o tempo para que se depositasse foi muito elevado. Logo, um sistema de tratamento eletrolítico que utilize NaCl deve ter no projeto um tempo de detenção do líquido elevado, o que para algumas situações não é viável.

CONCLUSÕES

A eletrólise apresenta características vantajosas quando comparada aos tratamentos tradicionais dados aos lixiviados, possivelmente isso se deve pela ocorrência de reações desejáveis provindas da oxidação/redução, como a ação em conjunto de coagulação e floculação, bem como a formação de microbolhas, que carregam os poluentes para o topo da solução onde podem ser concentrados, coletados e removidos com facilidade, auxiliando de forma mecânica no tratamento.

Podem ser destacados atributos favoráveis ao tratamento eletrolítico, tal qual a pequena área exigida para o seu funcionamento, sendo possível a adequação aos diversos tipos de espaços disponíveis, constituindo a montagem do equipamento de forma fácil. Há também a baixa incidência de fortes odores, pois é um tratamento relativamente rápido comparado ao volume tratado. Aponta-se também, a ausência de reagentes químicos, impossibilitando a produção de toxinas. Portanto, é um tratamento de fácil automatização do sistema, e, eficiência. Salientam-se também alguns fatores como: o baixo tempo de detenção, a produção de menor quantidade de lodo, os flocos da eletrocoagulação são grandes, com menos água, resistentes a meios ácidos e mais estáveis, podendo ser separados por filtração, sedimentação ou flotação.

A adição de NaCl ao chorume é importante para o aumento de carga iônica, possibilitando a maior condutividade do meio, porém, há a desvantagem do tempo necessário para que os sólidos sedimentáveis precipitem, sendo mais elevado que sem a adição do mesmo.

Evidencia-se o aumento da capacidade de tratamentos posteriores, permitindo o tratamento de compostos complexos. Observaram-se dados satisfatórios quanto ao objetivo de um tratamento primário, reduzindo características poluentes do lixiviado. É necessário um maior estudo em relação às reações químicas provocadas, já que o lixiviado possui diversos componentes passíveis de reações adversas.

É sugerida a realização de novos experimentos com diferentes densidades de corrente, seja alterando-se a intensidade de corrente aplicada ao sistema, ou através da alteração da área de eletrodos, pois o presente

estudo limitou-se ao aparato disponível na instituição de ensino. Além da prática do teste com variáveis de tempo superiores às utilizadas, e o emprego de outros materiais na constituição dos eletrodos. Seria interessante também, o estudo da combinação do tratamento de lixiviado pelo processo eletrolítico com o efluente de estação de tratamento de esgoto, analisando o desempenho deste conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAHÉ, D.F. Minimização das emissões de nitrogênio amoniacal do processo de tratamento de chorume por evaporação utilizando resinas de troca iônica, 2012.
2. BIDOIA, E. D., ANGELIS, D. F., CORSO, C. R., MORAES, P. B., DOMINGOS, R. N., ROCHA-FILHO, R. C. (21 de maio de 1997). Eletrólise de Resíduos Poluidores. I – Efluente de uma indústria liofilizadora de condimentos. Química Nova, pp. 20-24.
3. BRAGA, Gilda Maria. Semantic theories of information. Ciência da Informação, Brasília, v. 6, n. 2, p. 69-73, 1977.
4. CASTRO, A.P. YAMASHITA, F. SILVA, S.M.C.P. Addition to polyelectrolyte flocculation process in post leachate treatment coagulation-sedimentation-flocculation. Engenharia Sanitária e Ambiental. v17, n1, 25-32, janeiro 2012.
5. CERQUEIRA, A. A. Aplicação da Técnica de Eletrofloculação no Tratamento de Efluentes Têxteis. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006. 111f.
6. CETESB, Demanda Química de Oxigênio (DQO). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguassuperficiais/aguasinteriores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_quimica_de_oxigenio.pdf>, 2011.
7. CRESPILO, F. N. & REZENDE, M. O. O. Eletroflotação: princípios e aplicações, São Carlos: RIMA Editora, 2004. Acesso dia: 08/08/2014.
8. MOLLAH, M.A.; SCHENNAC, R.; PARGA, J.R.; COCKE, D.L. (2001). Eletrocoagulação ciência e aplicações (CE). Journal of Hazardous Materials, 2001.
9. TOBA, H. Avaliação da aplicação de processo de eletrolise no tratamento de chorume em aterros sanitários, 2012.
10. WISZNIEWSKI, J. et al. Aterro Métodos de tratamento de chorume: areview. Environmental Chemistry Letters, v. 4, n. 1, p. 51-61, 2006.