

III-169 - AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS PRESENTES EM LIXIVIADOS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Letícia Sobral Maia⁽¹⁾

Bióloga ambiental pelo Centro Universitário da Cidade – Univercidade. Mestre em Ciências pelo programa Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química – EQ/UFRJ. Doutoranda em Ciências na Escola de Química – EQ/UFRJ.

Juacyara Carbonelli Campos

Engenheira Química pela Escola de Química/UFRJ. Doutora em Engenharia Química/ Tecnologia Ambiental pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química-UFRJ.

Danielle Maia Bila

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre, Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Prof. Adjunto no Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da FEN/UERJ

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Processos Inorgânicos. Laboratório de Tratamento de Águas e Resíduos. Escola de Química - UFRJ. Centro de Tecnologia - Bloco I - sala I-124 Ilha do Fundão - CEP 21941-909. Tel. (21) 3938-7346 ramal: 2 E-mail: lettysm@ibest.com.br

RESUMO

O crescimento industrial e as mudanças nos processos de produção tem sido responsáveis por um aumento no volume e complexidade de descargas no ambiente. O lixiviado oriundo da disposição de resíduos sólidos urbanos é um líquido altamente poluente e seu tratamento tem sido um desafio para a Engenharia Ambiental em todo o mundo. Os lixiviados apresentam composição química bastante variável. Substâncias orgânicas e inorgânicas, produtos da biodegradação aeróbia e anaeróbia, além de compostos químicos lixiviados dos resíduos sólidos podem estar presentes nessa matriz (KJELDSEN et al, 2002).

Visto que o lixiviado é uma matriz aquosa potencialmente poluidora e de extrema complexidade, pois apresenta alta quantidade de matéria inorgânica e orgânica – dentre as quais estão as substâncias húmicas recalcitrantes e refratárias à biodegradação – o presente trabalho vem relatar um estudo de avaliação de técnicas de tratamento para remoção dessas substâncias do lixiviado de aterros de resíduos. Para tal, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos: analisar o lixiviado através de parâmetros físico-químicos de caracterização de efluentes (cor, COT e DQO); avaliar e determinar as condições ótimas do processo de coagulação/floculação e do processo de ozonização para remoção de substâncias húmicas do lixiviado.

No que se refere ao processo de coagulação/floculação, foram obtidas remoções de 93%, 71% e 63% para Cor, COT e DQO, respectivamente, para a maior concentração do coagulante (3000 mg.L⁻¹). A ozonização foi responsável pela elevada remoção de cor verdadeira do lixiviado (85%) e por consideráveis remoções de DQO (79%) e COT (64%) do lixiviado.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, Matéria Orgânica, Processos Oxidativos Avançados, Ozonização, Aterro de Resíduos

INTRODUÇÃO

Uma das grandes desvantagens da destinação final de resíduos em aterros é a geração de um efluente líquido derivado da decomposição parcial da matéria orgânica e com uma série de compostos naturais sintéticos dissolvidos e suspensos: o lixiviado. Tal efluente, se não descartado corretamente, pode ocasionar séria depreciação à qualidade de vida das populações que o produzem (FLECK, 2003).

Por apresentar essa grande variabilidade em sua composição, não há uma simples e universal solução para o seu tratamento. Este deve ainda levar em conta a variação na composição do lixiviado com a idade do aterro. Sobre isso, a literatura relata que essa variação interfere fortemente na eficiência dos processos de tratamento dos lixiviados (ZIYANG e YOUCAI, 2007).

Os processos biológicos de tratamento, aeróbios e anaeróbios, têm sido aplicados para reduzir efetivamente a carga poluidora de lixiviado gerado em aterros sanitários jovens. Entretanto, a principal fração de contaminantes de lixiviado oriundo de aterros maduros é composta de substâncias biologicamente refratárias como, por exemplo, as substâncias húmicas, exigindo, portanto, a associação de outras técnicas de tratamento para que a qualidade do efluente final adquira os padrões requeridos (COSTA, 2010).

As Substâncias Húmicas (SH) são originadas da oxidação e subsequente polimerização da matéria orgânica. De composição extremamente variada, as SH apresentam-se como uma mistura heterogênea de moléculas polidispersas com elevadas massas moleculares e grupos funcionais distintos (STEVENSON, 1994), compostas de carbono, oxigênio, hidrogênio e algumas vezes pequenas quantidades de nitrogênio, fósforo e enxofre (SILVA, 2002).

São constituídas de anéis aromáticos ligados por grupos $-\text{CH}_2\text{O}-$ e $-\text{CN}$, nos quais carboidratos e peptídeos estariam ligados aos átomos de carbono que unem os anéis e a grupos CH_2 ligados diretamente aos anéis (DRAGUNOV, 1948 apud LANDGRAF et al, 2005). Todavia, em todas elas, a característica principal é que o componente estrutural básico é o núcleo dado pelo anel benzeno.

A grande variação no grau de polimerização e no número de cadeias laterais e radicais que podem ser encontrados nas substâncias húmicas faz com que não existam duas moléculas húmicas idênticas (DOMMERGUES & MONGENOT, 1970 apud CONJITO, 2012). A presença de elevada concentração de matéria orgânica recalcitrante, composta por essas substâncias de estruturas complexas e variáveis, no lixiviado, ilustra a complexidade deste tipo de efluente, fazendo com que os tratamentos convencionais tenham sua eficiência limitada.

Diante disso, este estudo apresenta como proposta investigar os tratamentos adequados ao lixiviado de forma a minimizar o impacto ocasionado pela elevada concentração de substâncias recalcitrantes - substâncias húmicas - e, dessa forma, aumentar a sua biodegradabilidade, a partir da remoção desse material orgânico, para que o lixiviado tratado alcance o limite de descarte, em corpos receptores, exigidos pela legislação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado o lixiviado proveniente do aterro sanitário de Gericinó, situado no bairro de Bangu, que começou suas operações em 1987, como vazadouro a céu aberto. Atualmente recebe, em média, 2000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, gerando cerca de 500 m³/dia de lixiviado, armazenados na lagoa de acumulação existente (COMLURB, 2005). O aterro encerrou suas atividades em abril de 2014 (COMLURB, 2014).

A caracterização do lixiviado foi realizada com base nos seguintes parâmetros (APHA, 2005): Absorvância em 254nm (que fornece uma indicação do conteúdo de matéria orgânica aromática), Alcalinidade, Carbono Orgânico Total (COT), Cloreto, Cor, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal, pH, Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Turbidez.

Por conter alta concentração de matéria orgânica, que inclui as substâncias húmicas, elevada concentração de nitrogênio e salinidade, que demonstram a complexidade deste tipo de efluente, os tratamentos convencionais têm eficiência limitada quando usados para tratar o lixiviado. Dentre os tratamentos capazes de promover a degradação ou até mesmo a mineralização da matéria poluente refratária dos lixiviado, reduzindo significativamente seu potencial poluidor, destacam-se, neste trabalho, a coagulação/floculação e os processos oxidativos avançados.

COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

A coagulação/floculação foi realizada para avaliar a remoção de SH e, para isso, como coagulante foi utilizado o FeCl_3 , pois é recorrente na literatura que o ferro possui maior eficiência de remoção das SH (AMOKRANE et al, 1997).

O processo foi realizado em aparelho “Jar-test” (Modelo Nova Ética), conforme ilustra a Figura 1, com capacidade para a realização simultânea de até seis ensaios. Foram avaliados o pH na faixa de 4 – 9 e concentração de coagulante na faixa de 500 a 3000 mg.L⁻¹, que são intervalos típicos encontrados na literatura (MÁXIMO & CASTILHOS Jr, 2007). O tempo de mistura rápida foi de 1min, a 150 rpm e, a mistura lenta, se deu em 20 min, a 50 rpm. Posteriormente, o lixiviado decantou por 30 min. Ao final do procedimento, o clarificado (sobrenadante) foi coletado e analisado para valores de Cor, COT e DQO.



Figura 1: Aparelhagem de “Jar-Test” utilizada nos experimentos de coagulação/floculação

OZONIZAÇÃO

Foram realizados ensaios de ozonização em equipamento que gera ozônio da marca Unitek, modelo UTKO-8, a partir do ar atmosférico, dotado medidores de vazão, analisador de ozônio e gerador de ozônio, como mostra a Figura 2.



Figura 2: Gerador de Ozônio composto de medidores de vazão (1), analisador de ozônio (2) e gerador de ozônio (3).

O ensaio foi realizado com um volume de 1 litro de lixiviado do aterro de Gericinó disposto em proveta com capacidade para até 2 litros de amostra. O lixiviado foi submetido a um período de 90 minutos de exposição ao ozônio, sendo retiradas alíquotas em 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75 e 90 minutos para posterior avaliação da cor, COT e DQO.

No experimento de ozonização, uma corrente contendo ozônio na faixa de 10,0 mg.L⁻¹ em uma vazão de alimentação de 3,0 L.min⁻¹ foi continuamente introduzida na coluna. A partir desses valores, a dosagem de ozônio, em mgO₃.L⁻¹, foi obtida pelo produto entre a vazão e a concentração do gás na alimentação. A dosagem representa a taxa de massa de ozônio por unidade de tempo.

A maior dosagem de ozônio aplicada foi de 2700 mgO₃.L⁻¹, semelhante a dosagem empregada no processo de ozonização proposto por Bila et al. (2005), de 3000 mgO₃.L⁻¹, para remoção de matéria orgânica do lixiviado estabilizado do aterro de Gamacho. A Figura 3 apresenta as dosagens de ozônio aplicadas nos tempos de amostragem supracitados, durante todo o tempo de contato entre o ozônio e o lixiviado de Gericinó.

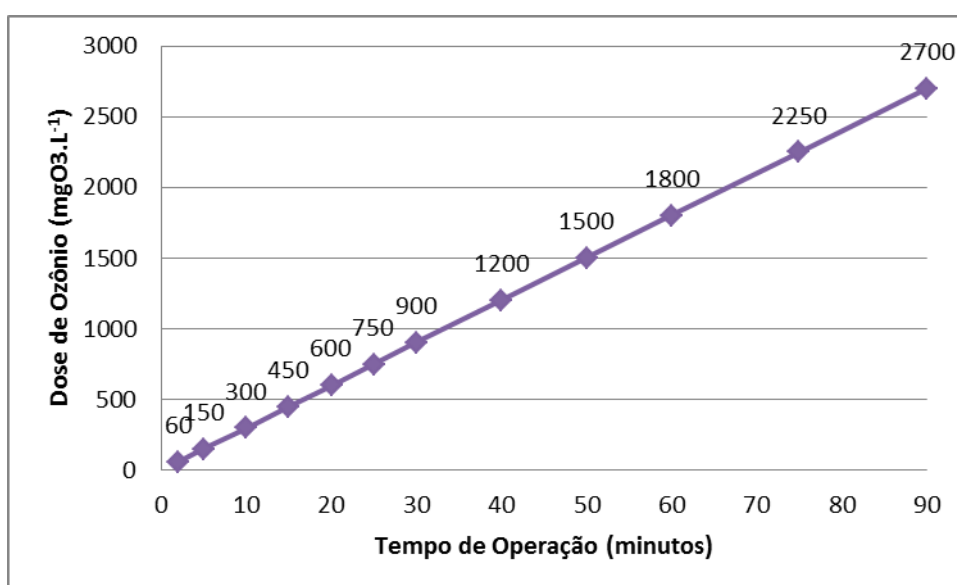


Figura 3: Valores correspondentes as dosagens de ozônio aplicadas no meio reacional, nos tempos de amostragem entre 2 e 90 minutos, durante todo o tempo de contato entre o ozônio e o lixiviado de Gericinó.

CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A eficiência de remoção foi calculada de acordo com a fórmula apresentada na Equação 1. O valor do parâmetro no lixiviado bruto foi utilizado como valor de referência para o cálculo da eficiência de remoção.

$$E.R(\%) = \frac{(C_0 - C_n)}{C_0} \times 100$$

Figura 3

Onde:

E.R = Eficiência de remoção;

C₀ = Valor do parâmetro medido no lixiviado bruto;

C_n = Valor do parâmetro medido no lixiviado tratado.

RESULTADOS

A caracterização físico-química do lixiviado bruto do Aterro de Gericinó foi realizada com base nos parâmetros ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de caracterização do lixiviado do Aterro de Gericinó

Parâmetros	Aterro de Gericinó
Absorvância em 254nm	12,44
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	5733
Carbono Orgânico Total (mgC.L ⁻¹)	551,6
Cloreto (mgCl.L ⁻¹)	2718
Cor (mgPtCo.L ⁻¹)	5241
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mgO ₂ .L ⁻¹)	63
Demanda Química de Oxigênio (mgO ₂ .L ⁻¹)	1916
Nitrogênio Amoniacal (mg[N-NH ₃].L ⁻¹)	1311
pH	8,1
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	7784
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	476
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	303
Turbidez	27,1
DBO ₅ /DQO	0,03
DQO/COT	3,47

Pode-se observar que a concentração de matéria orgânica é elevada e que o pH encontra-se na faixa básica, o que está de acordo com as características do aterro. Segundo Felici (2010), lixiviados mais estabilizados, provenientes de aterros mais antigos, como é o caso do aterro em questão, caracterizam-se por possuir uma maior quantidade de compostos recalcitrantes, que resistem à biodegradação e tendem a persistir e se acumular no ambiente.

Segundo Castilho Jr et al. (2006), as concentrações de DBO₅ e DQO tendem a sofrer reduções ao longo da degradação dos resíduos aterrados. Entretanto, a DBO₅ decresce mais rapidamente em relação à DQO, que permanece no lixiviado devido à matéria orgânica de difícil degradação.

COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Nesta etapa foi realizado o processo de coagulação/floculação para reduzir o elevado teor de matéria orgânica recalcitrante e de substâncias húmicas.

Após a adição de FeCl₃.6H₂O já era possível observar a formação dos flocos e em seguida o pH foi ajustado. Em poucos minutos, formaram-se coágulos compostos por espécies hidroxiladas de Fe₃⁺, sendo possível ver que a amostra ficava mais clara.

Para o parâmetro cor os resultados de eficiência de remoção mostram que, até a concentração de 1000 mgFeCl₃.6H₂O.L⁻¹, alcançaram 84%, enquanto que de 1000 a 3000 mgFeCl₃.6H₂O.L⁻¹ o aumento foi mais suave, chegando a 93% de remoção na concentração de 3000 mg.L⁻¹ de coagulante. Cabe ressaltar que mesmo na menor concentração de cloreto férrico hexahidratado, 500 mg.L⁻¹, a remoção de cor já foi superior a 65%.

Resultados semelhantes com relação à remoção de cor após tratamento por coagulação/floculação, porém em menores concentrações do coagulate, foram descritos por Aziz (2007) e Kawahigashi (2012). Em Aziz (2007), com a utilização de 800 mg.L^{-1} de cloreto férrico, em pH 4,0, para o tratamento de lixiviado bruto estabilizado, alcançou-se a eficiência de remoção de 94% da cor. Kawahigashi (2012) aplicou $250 \text{ mgFe}_3^{+}.\text{L}^{-1}$, o que corresponde a cerca de $1200 \text{ mgFeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}.\text{L}^{-1}$, em pH 4,0, no lixiviado de aterro sanitário de Rolândia (PR). O autor obteve 96% de eficiência de remoção de cor.

O aumento da clarificação do lixiviado pela coagulação com íon férrico pode estar associado a presença significativa de ácido húmicos. O ferro pode ser quelado pela presença de grupos carboxílicos, fenólicos e carbonilos da estrutura do ácido húmico formando complexos estáveis (CAMARGO, 2006) os quais apresentam menor solubilidade em valores de pH próximo à neutralidade.

Remoções significativas também foram encontradas para os parâmetros DQO (63%) e COT (71%), na concentração de $3000 \text{ mgFeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}.\text{L}^{-1}$, atingindo valores finais de $712 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e $160 \text{ mgC}.\text{L}^{-1}$, respectivamente.

De acordo com Amokrane et al. (1997), o percentual de remoção de matéria orgânica, obtido pelo processo de coagulação/floculação, é geralmente na ordem de 10 a 25% para lixiviados não estabilizados, e 50 a 65% para lixiviados estabilizados ou submetidos a pré-tratamento biológico.

A Figura 3 ilustra os resultados obtidos do monitoramento da Cor, COT e DQO no tratamento de coagulação/floculação do lixiviado do Aterro de Gericinó.

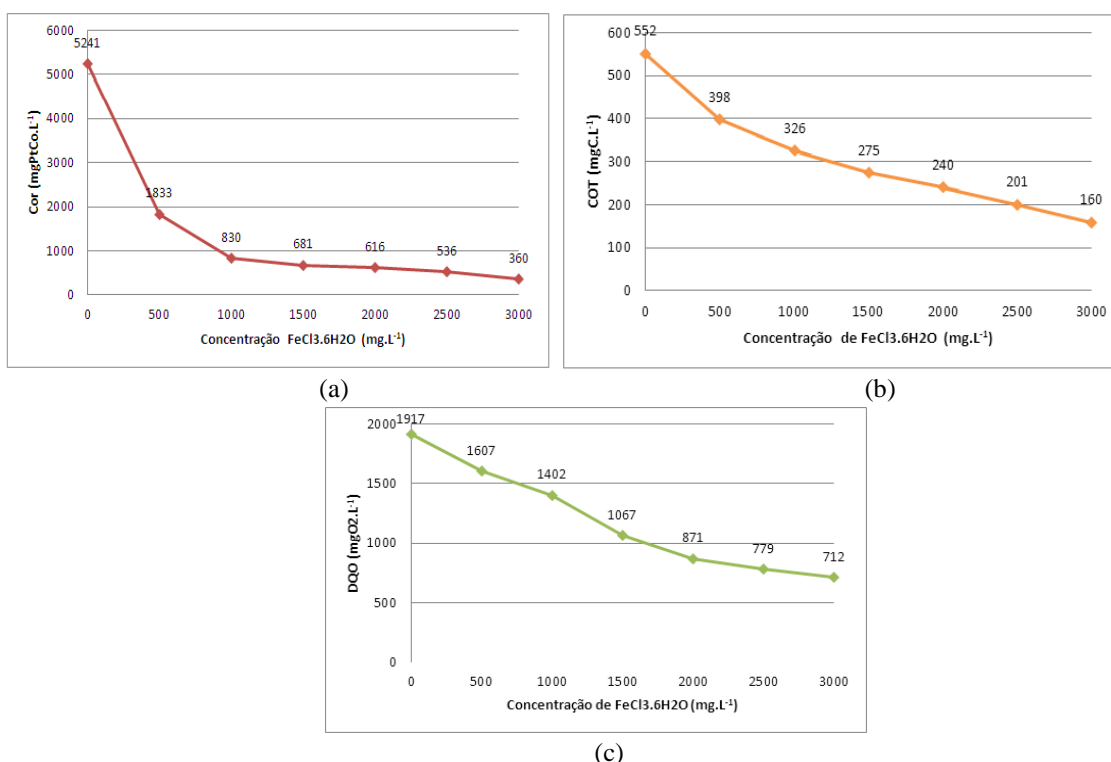


Figura 4: Monitoramento do lixiviado de Gericinó, durante o tratamento de coagulação/floculação, em pH 4,0, com cloreto férrico como coagulante, para os parâmetros de (a) Cor, (b) COT e (c) DQO.

Felici (2010) com a utilização de cloreto férrico como coagulante em uma dosagem de $2000 \text{ mgFeCl}_3.\text{L}^{-1}$, em pH 3,0, alcançou remoção de 80% de DQO.

Conclui-se que a técnica de coagulação-floculação com $\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$ como coagulante foi eficiente para o tratamento de lixiviado de aterro, pois foi capaz de remover 63% da DQO e 71% do COT, na concentração de

3000 mgFeCl₃.6H₂O.L⁻¹, atingindo valores finais de 712 mgO₂.L⁻¹ e 160 mgC.L⁻¹, respectivamente. Tal conclusão pode ser corroborada pelo estudo de Ferreira (2013), que utilizou o coagulante cloreto férrico, na concentração de 2500 mg.L⁻¹, também para tratar lixiviado de Gericinó. Em pH 5,0, o autor obteve remoção de 60% de DQO.

OZONIZAÇÃO

A técnica de ozonização geralmente é empregada para degradar poluentes orgânicos, oxidar compostos fenólicos, remover cor, dentre outras funcionalidades e, assim, reduzir a toxicidade dos efluentes (BASSANI, 2010).

No ensaio realizado com ozônio foram obtidos resultados positivos no tocante à remoção de cor verdadeira, COT e DQO. Os valores de eficiência de remoção encontrados para esses parâmetros, na maior concentração (2700 mgO₃.L⁻¹) e tempo de operação de 90 minutos, respectivamente, foram 85, 64 e 79 %.

A figura 5 ilustra os resultados obtidos do monitoramento da Cor, COT e DQO.

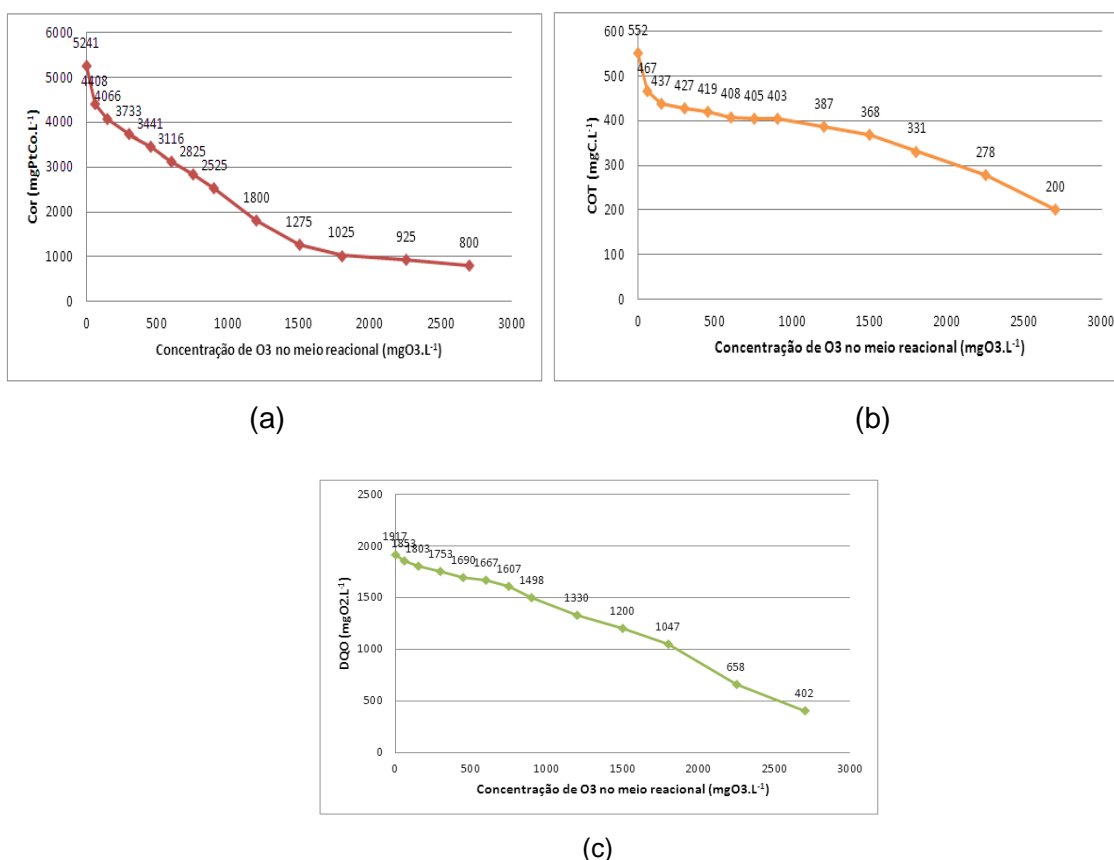


Figura 5: Monitoramento do lixiviado de Gericinó, durante o tratamento de ozonização, em pH 8,0 e dose de ozônio de 30 mgO₃.L⁻¹, para os parâmetros de (a) Cor, (b) COT e (c) DQO.

Observa-se que os resultados obtidos na remoção da cor verdadeira foram sempre crescentes ao longo do tratamento de 90 minutos, obtendo-se remoção significativa de 72% na metade do tempo de contato do ozônio com a amostra (45 minutos), alcançando em torno de 85% ao término do experimento.

Segundo Tizaoui et al. (2007) a mudança rápida e lenta de cor ocorre devido aos mecanismos de reação do ozônio na massa líquida, que provoca alterações na natureza dos compostos existentes, ou seja, na formação de

subprodutos da oxidação. A cor também pode estar associada à presença de compostos aromáticos no efluente, que quando ozonizado provoca a formação de fenóis rapidamente, e que quando oxidados podem resultar em ácidos alifáticos e aldeídos, em menor velocidade.

Silva (2002) avaliou o processo de ozonização no tratamento do lixiviado de Gramacho. Utilizando a dosagem de $3 \text{ gO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, em pH 4,0, obteve a remoção de 60% da DQO e 80% da cor.

Segundo Bila (2000), as baixas remoções de DQO observadas para baixas dosagens de ozônio, podem ser atribuídas à rápida mudança na estrutura dos compostos orgânicos como consequência de reações de formação de intermediários de curta duração, que são mais prontamente oxidáveis pelos reagentes de DQO. Quando maiores dosagens de ozônio são aplicadas, esses compostos são oxidados, promovendo uma efetiva redução da DQO.

Alguns trabalhos na literatura destacam o uso da ozonização no tratamento de lixiviado de aterros. Huang et al. (1993) e Silva (2002) observam que o processo de ozonização é eficiente para a remoção de cor do efluente. Porém, a eficiência do ozônio na remoção de carbono orgânico total é baixa, na faixa de 50 a 60%.

Pode-se afirmar que os resultados obtidos são bastante promissores, principalmente no tocante à eficiência de remoção de matéria orgânica, visto que, após o período de 90 minutos, na dosagem de $2700 \text{ mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, a remoção atingiu valores de 79% para DQO e 64% para COT, obtendo-se valores finais de $402 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e $200 \text{ mgC}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

CONCLUSÕES

O presente trabalho tem como objetivo avaliar técnicas de tratamento para remover e degradar substâncias húmicas do lixiviado.

O lixiviado do Aterro de Gericinó apresentou como característica uma elevada concentração de matéria orgânica representada por uma alta DQO de $1916 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, além de elevada cor ($5241 \text{ mgPtCo}\cdot\text{L}^{-1}$) e valor de COT considerável ($551,6 \text{ mgC}\cdot\text{L}^{-1}$).

Constatou-se que o processo físico-químico de coagulação/floculação utilizando coagulante $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ apresentou-se como satisfatório com relação à redução da cor do lixiviado, assim como da matéria orgânica, alcançando remoções de 93%, 71% e 63% para Cor, COT e DQO, respectivamente, para a maior concentração do coagulante ($3000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

A ozonização foi responsável pela elevada remoção de cor do lixiviado (85%) devido ao ataque direto do ozônio a compostos aromáticos ou com ligações duplas que são responsáveis pela sua coloração. Os resultados mostraram que quanto maior a dosagem de ozônio, que está diretamente ligada ao tempo de contato do efluente com o gás, maior é a remoção de DQO (79%) e COT (64%) do lixiviado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research*, v.31, p.2775-2782, 1997.
2. APHA / AWWA / WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed. USA, APHA, 2005.
3. AZIZ H. A., ALIAS S., ADLAN M. N., FARIDAH, ASAARI A. H., and ZAHARI, M. N. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresource Technology*, v.98, p. 218-220, 2007.
4. BASSANI, F. Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio. Dissertação de Mestrado, UEM. Paraná, Brasil. 2010.
5. BILA, D. M. Aplicação de processos combinados no tratamento de chorume. Dissertação de Mestrado, UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
6. BILA, D. M., MONTALVÃO, F., SILVA, A. C. and DEZOTTI, M., Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. *Journal of Hazardous Materials*, 117, No. 2-3, 235, 2005.

7. CAMARGO de, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006. Disponível em: www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm. Acesso em: 30/02/2014
8. CASTILHOS JR., A. B. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: Castilhos Jr, A. B. (Org). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Rio de Janeiro. Rima/ABES, 2006.
9. COMLURB – Publicações no site da empresa de informações sobre os resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro, 2005.
10. COMLURB – Publicações no site da empresa de informações sobre os resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro, 2014.
11. COSTA, V. C. Associação de tratamentos físico-químicos para remoção de matéria orgânica e cor de chorume estabilizado produzido no lixão da cidade de Maceió/AL. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, 2010.
12. KAWAHIGASHI, F. Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento. Londrina, 2012.
13. KJELDSEN P.I.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v.32, p.297-336, 2002.
14. FELICI, E. M. Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. Londrina, 2010.
15. FERREIRA, D. S. Estudo comparativo da coagulação/floculação e eletrocoagulação no tratamento de lixiviado de aterro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2013.
16. FLECK, E. Sistema integrado por filtro anaeróbico, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 213 f. Porto Alegre. 2003.
17. HUANG, S., DIYAMANDOGLU, V., FILLOS, J. Ozonation of Leachates from Aged Domestic Landfills. Ozone Science & Engineering, v.15, p. 433-444, 1993.
18. LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, O.O. A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações. Editora Rima, em 2005.
19. MÁXIMO, V.A.; CASTILHOS JR., A.B. Estudo do tratamento por coagulação-floculação de lixiviados gerados em aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis. Anais...Belo Horizonte, MG: ABES, 2007.
20. SILVA, A. C. Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado. 2002. 79 p. Dissertação de mestrado - Rio de Janeiro. SILVA 2002.
21. STEVENSON, F. J. Humus Chemistry: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley, 1994. 496 p.
22. TIZAOU, C., BOUSELMI, L., MANSOURI, L., GHRABI, A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. J. Hazard. Mater. 140, 316 e 324. 2007.
23. ZIYANG, L; YOUCAI, Z. Size-fractionation and characterization of refuse landfill leachate by sequential filtration using membranes with varied porosity. Journal of Hazardous Materials. V. 147, n 1-2, p. 257-264, 2007