

III-239 – REDUÇÃO DE COR E TURBIDEZ NO PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO ANTIGO DE ATERRO SANITÁRIO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Camila de Almeida Porto⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB.

Mariana Maciel Almeida de Andrade

Engenheira Ambiental pela UFPB. Pós-graduação em andamento em Sistema de Gestão Integrada da Qualidade, Meio Ambiente, Segurança e Saúde do Trabalho e Responsabilidade Social. Engenheira Ambiental da Prefeitura Municipal de Pesqueira (PE).

Larissa Granjeiro Lucena

Engenheira Ambiental pela UFPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB. Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Elson Santos da Silva

Engenheiro Ambiental pela Laureate International Universities. Mestre em Energias Renováveis pela UFPB. Doutorando em Ciências e Engenharia de Materiais pela UFPB. Técnico em Saneamento do Laboratório de Saneamento da UFPB.

Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil/Geotécnica Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutora em Engenharia Civil/ Saneamento Ambiental pela UFC. Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPB.

Endereço⁽¹⁾: Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco III, João Pessoa - PB, 58051-900 – Brasil - Tel: (83) 3216-7200 – e-mail: camila.aporto@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a coagulação/floculação/sedimentação no pós-tratamento do lixiviado antigo do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, Paraíba – Brasil, utilizando cloreto férrico como coagulante. Realizou-se dois testes em escala de bancada, à temperatura ambiente e com agitação manual. O primeiro teste consistiu na variação da concentração do coagulante (100 a 1500 mgFe⁺³.L⁻¹), em pH natural (8,4) e 1 hora de decantação, cujos parâmetros analisados foram cor verdadeira e turbidez. No segundo teste realizou-se a variação do pH (3 a 8) na concentração fixa de 300 mgFe⁺³.L⁻¹, cujo parâmetro analisado foi cor verdadeira determinada em 30, 60, 120 e 180 minutos. O lixiviado inicial foi classificado como antigo devido ao pH alcalino, baixa biodegradabilidade (DBO5/DQO = 0,08) e elevada cor que indica a presença de compostos recalcitrantes. Com relação ao primeiro teste, observou-se aumento na remoção de cor e turbidez à medida que se aumentou a concentração do coagulante, com remoção máxima de 93% de cor verdadeira e 80% de turbidez para uma adição de 1500 mgFe⁺³.L⁻¹. Quanto ao segundo teste, não se verificou variações consideráveis na remoção de cor verdadeira ao longo do tempo e obteve-se remoções acima de 70% entre pH 3 a 6 nos primeiros 30 minutos. O tratamento aplicado apresenta-se como alternativa para a redução de cor e turbidez de lixiviado antigo utilizado no estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento físico-químico, efluente, cloreto férrico, cor verdadeira e turbidez.

INTRODUÇÃO

Cerca de 42,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram dispostos em aterro sanitário no Brasil em 2015 (ABRELPE, 2015), correspondendo a 53% do total. Embora seja a forma de disposição ambientalmente adequada (BRASIL, 2010), os aterros sanitários necessitam de ações de proteção e monitoramento devido ao potencial poluidor derivado dos efluentes gerados, destacando-se o lixiviado.

O lixiviado de aterro sanitário é um líquido formado a partir das transformações físico-química e biológica dos resíduos aterrados. Este efluente apresenta diversos poluentes orgânicos e inorgânicos, requerendo tratamento prévio ao lançamento nos corpos receptores (CASTILHO JUNIOR, DALSSASSO & ROHERS, 2010).

Entretanto, sua composição variável dificulta a definição de um sistema de tratamento padrão (KULIKOWSKA & KLIMIUK, 2008).

De maneira geral, tratamentos biológicos são recomendados para lixiviados novos com elevada quantidade de matéria orgânica biodegradável ($DBO_5/DQO > 0,5$), enquanto que tratamentos físico-químicos são adequados para lixiviados antigos (RENOU, GIVAUDAN, POULAIN, DIRASSOUYAN & MOULIN, 2008). A combinação destes tratamentos é necessária para alcançar os limites estabelecidos na legislação ambiental.

Neste contexto, a aplicação da coagulação/floculação/sedimentação após tratamento biológico é uma alternativa para a remoção de sólidos suspensos e coloidais remanescentes, visando principalmente a redução da DQO recalcitrante e da cor para seu lançamento no meio ambiente (CASTRO, YAMASHITA & SILVA, 2012). Alguns autores avaliaram a coagulação/floculação para lixiviado de aterro sanitário pré-tratado biologicamente com resultados satisfatórios, como Felici, Kuroda, Yamashita e Silva (2013); Queiroz, Amaral, Morita, Yabroudi e Sobrinho (2011); Gewehr (2012); e Nascimento (2013).

Este trabalho objetivou avaliar o processo de coagulação/floculação/sedimentação utilizando cloreto férrico no pós-tratamento do lixiviado antigo do sistema de lagoas de estabilização do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), do município de João Pessoa, PB – Brasil, visando a remoção de matéria orgânica recalcitrante em termos de cor verdadeira e turbidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado foi coletado na segunda lagoa facultativa do ASMJP em outubro de 2016. O sistema de tratamento do lixiviado do ASMJP é composto por 11 lagoas, sendo 3 de decantação, 2 anaeróbicas, 2 facultativas, 2 charcos, 1 reservação e 1 de recirculação, caracterizando um tratamento de natureza biológica. Ao final, parte do lixiviado é recirculado, voltando ao sistema (ASMJP, 2016).

Cor verdadeira, DBO_5 , DQO, ferro total, pH, sólidos totais (fixos e voláteis) e turbidez foram determinados de acordo com o Standard Methods (APHA, AWWA & WEF, 2005) para a caracterização do efluente inicial. Em seguida, foram realizados dois testes (Teste I e II) em escala de bancada, à temperatura ambiente e com agitação manual (10s). O ajuste de pH foi realizado com ácido sulfúrico (concentrado e 2N). A eficiência do processo foi calculada pela Equação 1.

$$E (\%) = \frac{(X - X_i)}{X} \cdot 100 \quad (1)$$

E = Eficiência; X = Parâmetro da amostra bruta; X_i = Parâmetro da amostra tratada.

Teste I – Variação da concentração do coagulante: consistiu na variação da concentração do $FeCl_3$ (100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1300 e 1500 $mg\ Fe^{+3} \cdot L^{-1}$), em pH natural (8,43) e 1 hora de decantação, cujos parâmetros analisados foram cor verdadeira e turbidez. Também se determinou o pH final das amostras.

Teste II - Variação pH: realizou-se a variação do pH (3, 4, 5, 6, 7 e 8) na concentração fixa de 300 $mg\ Fe^{+3} \cdot L^{-1}$, cujo parâmetros analisados foram cor verdadeira e lodo gerado determinados em 30, 60, 120 e 180 minutos. O pH final também foi determinado. O lodo foi quantificado em tubo cônico graduado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

O efluente coletado apresentou odor desagradável e uma coloração escura. A partir da sua caracterização (Tabela 1), observou-se que o efluente ainda apresenta elevado potencial contaminante ($DQO = 3.205,92\ mg\ O_2 \cdot L^{-1}$ e cor verdadeira = $5.225,00\ mg\ Pt-Co \cdot L^{-1}$), impossibilitando seu lançamento nos corpos hídricos.

O baixo valor da relação DBO_5/DQO (0,08) e o pH alcalino (8,43) caracterizaram este lixiviado como antigo, segundo RENOU et al. (2008), dificultando o tratamento biológico adotado no ASMJP. A elevada cor também

indica a presença de compostos recalcitrantes (FELICI et al., 2013). O efluente ainda apresenta elevada quantidade de sólidos, predominando a fração inorgânica (80%), assim como encontrado por Felici et al. (2013), Nascimento (2013), Gewher (2012). Devido a estas características, um pós-tratamento físico-químico é recomendado.

Tabela 1: Caracterização do lixiviado proveniente da lagoa facultativa do ASMJP.

Parâmetro	Valor
Cor verdadeira (mg Pt-Co. L ⁻¹)	5.225
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	254
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	3.206
Ferro total (mg Fe. L ⁻¹)	7,4
pH	8,4
Sólidos Totais (mg. L ⁻¹)	11.900
Sólidos Totais Fixos (mg. L ⁻¹)	9.418
Sólidos Totais Voláteis (mg. L ⁻¹)	2.482
Turbidez (NTU)	136

TESTE I: VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

À medida que a concentração do coagulante aumentou, foram observadas maiores remoções de cor verdadeira e turbidez. Houve também uma redução gradual do pH final das amostras em relação ao efluente inicial (Figura 1). A maior eficiência foi alcançada para a concentração de 1500 mg Fe⁺³. L⁻¹ com 93% de cor verdadeira e 80% de turbidez, com uma redução de pH de 2,17 (pH inicial = 8,49).

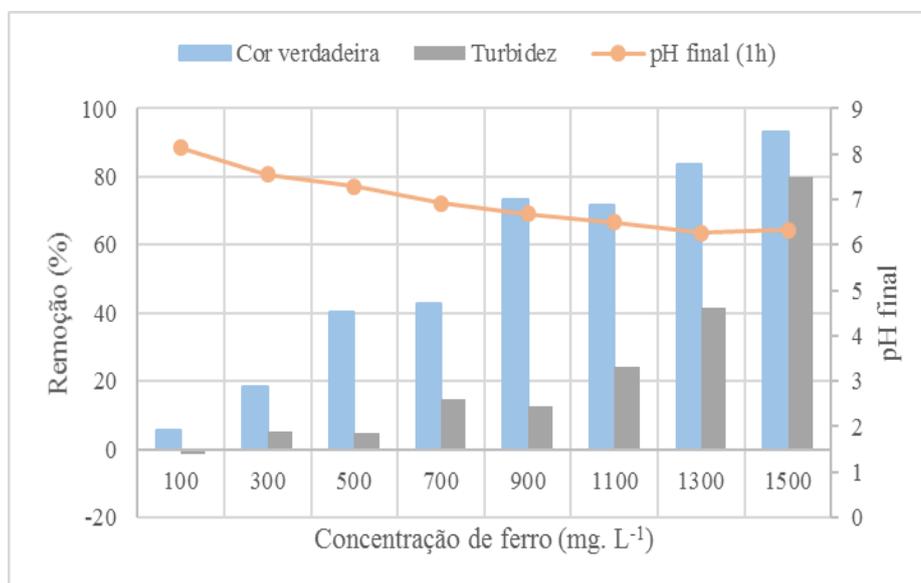


Figura 1: Remoção de cor verdadeira, turbidez e pH final referente ao teste variação de concentração.

Gandhimathi et al. (2013), utilizando FeCl₃ e sulfato de alumínio, observaram comportamento semelhante - o aumento da concentração do coagulante proporcionou maior eficiência (Remoção de DQO). Já Gewehr (2012) observou maior remoção de cor e turbidez em uma concentração central de FeCl₃ (700 mg Fe⁺³. L⁻¹), reduzindo nos valores extremos testados (172 e 1722 mg Fe⁺³. L⁻¹).

Na figura 2 são apresentadas as amostras após uma hora de decantação. É possível constatar a clarificação gradual do lixiviado com o aumento da concentração do coagulante adicionado. Ressalta-se que após a adição

do coagulante, houve formação imediata dos flocos com peso suficiente para visualizar a decantação em poucos minutos.



Figura 2: Amostras referentes ao teste de variação da concentração após uma hora de decantação.

Apesar de não haver sido quantificado o lodo neste etapa, percebeu-se que a quantidade formada foi proporcional à concentração do coagulante (Figura 2). Queiroz et al. (2011) relataram a mesma relação entre dosagem de coagulante e lodo formado. Diferentemente, Gandhimathi et al. (2013) relataram decréscimo na geração de lodo com o aumento da concentração de FeCl_3 (200 a 1000 $\text{mg Fe}^{+3} \cdot \text{L}^{-1}$) sem ajuste de pH. E Gewehr (2012) não observou variações consideráveis na formação de lodo nas diferentes concentrações (172 a 1722 $\text{mg Fe}^{+3} \cdot \text{L}^{-1}$) de FeCl_3 com ajuste prévio para pH 6.

TESTE II: VARIAÇÃO DO PH

Na Figura 3 são apresentadas as remoções de cor verdadeira ao longo do tempo das amostras em cada pH estudado. Observou-se que a remoção não variou consideravelmente ao longo do tempo monitorado. As amostras com pH 7 e 8 obtiveram as menores remoções de cor (37%), enquanto que as demais ($\text{pH} < 7$) alcançaram remoções superiores a 70% já nos primeiros 30 minutos de decantação. Amor et al. (2015) avaliaram a eficiência do FeCl_3 para lixiviado de aterro sanitário em vários pH e observaram que as maiores remoções de DQO foram para o pH 5 e 6. Queiroz et al. (2011) relatam que as maiores remoções para o FeCl_3 ocorreram entre o pH 4 e 5.

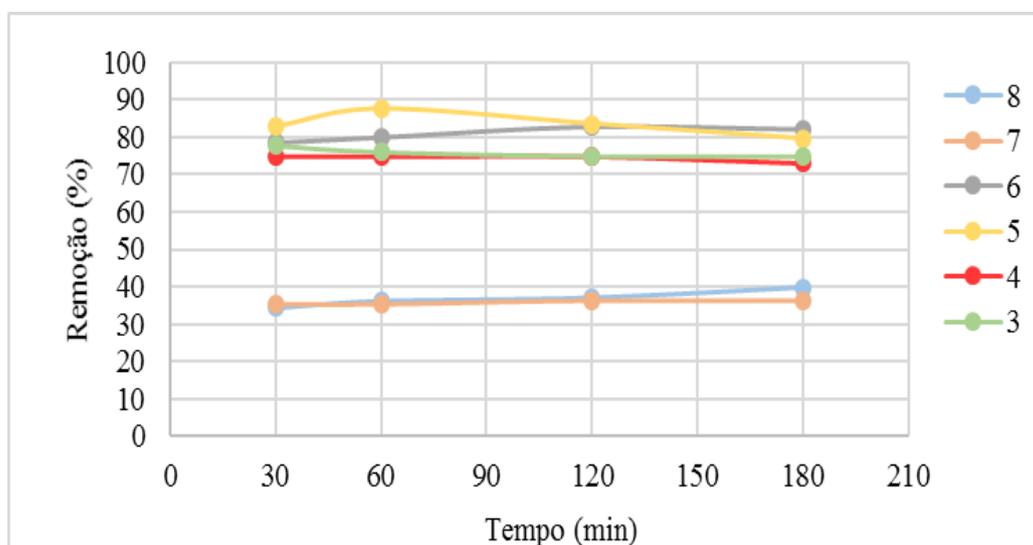


Figura 3: Remoção de cor verdadeira ao longo do tempo referente ao teste variação do pH.

Destaca-se a amostra em pH 5 com a maior remoção (87,55%) com uma hora de decantação. Destaca-se que apenas com uma concentração entre 1300 e 1500 $\text{mg Fe}^{+3} \cdot \text{L}^{-1}$ foi alcançada uma remoção desta magnitude no teste anterior (Teste I), evidenciando a importância do pH para a coagulação/floculação.

Na Figura 4 é apresentado o volume de lodo decantado ao longo das três horas de monitoramento. Todas as amostras apresentaram estabilização do lodo neste período, exceto a amostra no pH 3. Observou-se maior geração de lodo (350-375 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$) nas amostras que também apresentaram maior remoção de cor verdadeira –

pH 3 a 6. Gewehr (2012) encontrou 350 mL. L⁻¹ de lodo e Gandhimathi et al. (2013) quantificaram cerca de 700 mL. L⁻¹, com a mesma dosagem de coagulante utilizada neste trabalho.

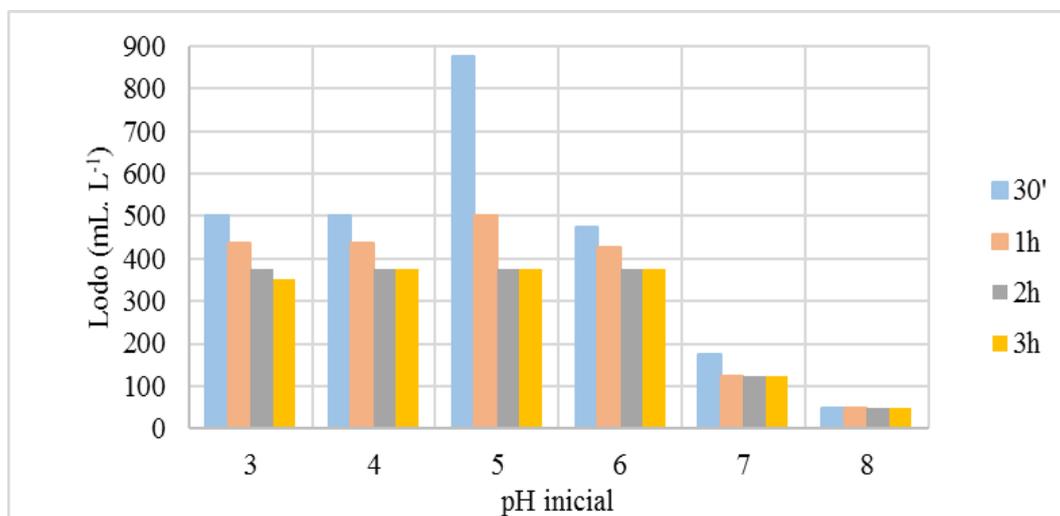


Figura 4: Lodo decantado ao longo de três horas referente ao teste variação do pH.

A variação do pH das amostras (Tabela 2) não foi constante, mesmo com uma concentração fixa de coagulante. O efluente apresentou uma capacidade de tamponamento no pH 3 e 6 a 8, principalmente no pH 7 com uma variação de apenas 0,27. Já nos pH 4 e 5, a variação foi maior, com destaque para o pH 5 com uma redução de 2,2. Amor et al. (2015) observou um decréscimo de 1,8 após a adição de 413 mg Fe⁺³. L⁻¹ com lixiviado ajustado para pH 5. GANDHIMATHI et al. (2013) encontrou uma redução de 0,87 apenas quando adicionou 1000 mg Fe⁺³. L⁻¹ no lixiviado em pH natural (7,87).

Tabela 2: Variação do pH das amostras referente ao 2º teste.

pH inicial	pH final	ΔpH
3,02	2,38	0,64
4,00	2,59	1,41
5,00	2,78	2,22
6,03	5,28	0,75
7,03	6,75	0,28
7,96	7,05	0,91

CONCLUSÕES

A coagulação/floculação/sedimentação apresentou-se como alternativa para a redução de cor e turbidez do lixiviado em estudo. Constatou-se forte dependência do pH para a eficiência do processo, possibilitando a redução da concentração do coagulante se houver ajuste prévio. Além disso, estas análises permitiram uma visão inicial do tratamento aplicado, possibilitando a definição de intervalos menores para posterior análise multivariada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOR, C. et al. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Materials*, v. 286, p. 261-268, 2015.
2. American Public Health Association; The American Water Works Association; The Water Environment Federation (APHA; AWWA; WEF). *Standards methods for the examination of water and wastewater*, 21th ed. Washington, DC, 2005.
3. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. 2015.
4. Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP). *Monitoramento do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - Relatório de Atividades (Maio e junho)*. 2016.
5. American Public Health Association, The American Water Works Association & The Water Environment Federation – APHA; AWWA & WEF. *Standards methods for the examination of water and wastewater*, 21th ed. Washington, DC. 2005.
6. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. 2010.
7. CASTILHO JUNIOR, A. B.; DALSSASSO, R. L.; ROHERS, F. (2010). Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(4), 385–392.
8. CASTRO, A. P., YAMASHITA, F. & SILVA, S. M. C. P. Adição de polieletrólito ao processo de floculação no pós-tratamento de lixiviado por coagulação-floculação-sedimentação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, v. 1, p. 25–32, 2012.
9. FELICI, E. M., KUDORA, E. K., YAMASHITA, F. & SILVA, S. M. C. P. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, v. 2, p. 177–184, 2013.
10. GANDHIMATHI, R., Durai, N. J., NIDHEESH, P. V., RAMESH, S. T. & KANMANI, S. Use of combined coagulation-adsorption process as pretreatment of landfill leachate. *Iranian Journal Environmental Health Science Engineering*, v. 10, n. 1, p. 7, 2013.
11. GEWEHR, A. G. (2012). Tratamento por coagulação-floculação de lixiviado bruto de aterro sanitário com e sem pré-tratamento biológico em reator sequencial em batelada. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
12. KULIKOWSKA, D., & KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 5981–5985, 2008.
13. NASCIMENTO, I. O. C. Avaliação do processo de coagulação-floculação de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado biologicamente utilizando quitosana e sulfato de alumínio como coagulantes. *Dissertação de mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 2013.
14. QUEIROZ, L. M., AMARAL, M. S., MORITA, D. M., YABROUDI, S. C. & SOBRINHO, P. A. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 403–410, 2011.
15. RENO, S., GIVAUDAN, J. G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., & MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, p. 468–493, 2008.