



## Coagulação, floculação e decantação de lixiviado de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

**Cátia Eliane da Silva<sup>1</sup>, Henrique Girotto<sup>2</sup>, Thays Varella<sup>3</sup>, Lademir Luiz Beal<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Caxias do Sul (catia1989@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade de Caxias do Sul (henriquegirotto14@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade de Caxias do Sul (tvarella@ucs.br)

<sup>4</sup>Universidade de Caxias do Sul (llbeal@ucs.br)

### Resumo

Aterros sanitários produzem grandes quantidades de efluentes gerados a partir da umidade do resíduo sólido depositado e lixiviação provocada pelos eventos pluviométricos. Este efluente sem tratamento adequado apresenta elevado potencial de contaminação a corpos hídricos. O objetivo deste trabalho é avaliar o tratamento de coagulação, floculação e decantação de lixiviado de aterro sanitário tratado previamente em lagoas facultativas. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio com concentração de 270 mg de  $Al^{+3}/L$  de lixiviado. Os experimentos ocorreram na estação de tratamento do aterro sanitário Rincão das Flores de Caxias do Sul. Foram analisados parâmetros como metais,  $DBO_5$ , DQO, nitrogênio amoniacal e Kjeldahl, sólidos, sulfato e condutividade. Os resultados obtidos foram satisfatórios, sendo 79,13% de eficiência na remoção de DQO e 57,27% na remoção de nitrogênio total Kjeldahl, 86,97% de  $DBO_5$ , além de ser eficiente na remoção de metais presentes no efluente (Ni, Hg, Cr, Mn). Porém, manteve a condutividade do efluente alta e aumentou a concentração de sulfato, o que pode ser prejudicial à toxicidade.

Palavras-chave: Lixiviado de aterro sanitário, coagulação, floculação e decantação

Área Temática: Águas resíduárias

## Coagulation, flocculation and decantation of municipal solid waste landfill leachate

**Abstract:** Sanitary landfills produce large quantities of effluents generated from the moisture of buried solid waste and leaching of rainfall. The main goal of this work is to evaluate the treatment of coagulation, flocculation and sedimentation of landfill leachate previously treated by facultative ponds. The experiments were carried out at the Caxias do Sul landfill treatment plant, Aterro Rincão das Flores, with aluminum sulphate coagulant, using a concentration of 270 mg of  $Al^{+3}/L$  of leachate. Several parameters such as metals,  $BOD_5$ , COD, ammoniacal and Kjeldahl nitrogen, solids, sulfate and conductivity were analyzed. The results were satisfactory, reaching 79.13% COD removal efficiency, 57.27% Kjeldahl total nitrogen removal and 86,97% BOD, besides being efficient in the removal of metals present in the effluent (Ni, Hg, Cr, Mn). However, it maintained the conductivity of the effluent high and increased the sulfate concentration, which may be detrimental to toxicity.

**Key words:** Landfill leachate, coagulation, flocculation and decantation

**Theme Area:** Waste water



## 1 Introdução

Lixiviado de aterro sanitário é um líquido de coloração escura, que apresenta em sua composição alta concentração de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que em geral não se têm informações necessárias sobre toxicologia. Entre seus componentes encontra-se matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica volátil, substâncias húmicas, macro moléculas inorgânicas, metais pesados ( $Cd^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ), pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos e poliaromáticos, fenóis e fenóis clorados. Muitos desses compostos são considerados persistentes no meio ambiente, podendo ter características carcinogênicas (RIGOBELLO *et al.*, 2015; YAO, 2013).

O clima local tem grande influência na produção de lixiviado afetando perdas por evaporação e entrada de água da chuva na célula de aterro. Fatores como composição, idade, umidade e compactação da camada de resíduo enterrada influenciam na vazão volumétrica e composição do lixiviado gerado em aterro sanitário. Os parâmetros utilizados para classificar lixiviados de diferentes aterros sanitários, são usualmente, demanda química de oxigênio em 5 dias ( $DBO_5$ ), demanda química de oxigênio (DQO), a relação  $DBO_5/DQO$ , pH, nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e metais pesados (RENOU *et al.*, 2007; YAO, 2013).

Para tratar lixiviado de aterro sanitário, pode ser utilizado, por exemplo, o tratamento biológico, que pode ocorrer em lagoas anaeróbias, aeróbias e facultativas e o tratamento físico químico, que consiste em coagulação, floculação e decantação.

O objetivo principal da coagulação e da floculação consiste em elevar a velocidade de sedimentação, do aglomerado de partículas a ser formado devido à adição de um coagulante. Este aglomerado de partículas é conhecido como floco. Diversos fatores influenciam no processo de coagulação. Dentre os principais, destacam-se o tipo de coagulante e o pH.

A floculação é considerada uma operação unitária que se constitui de um conjunto de fenômenos físicos, envolve a aglutinação das partículas com o objetivo de reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida.

Sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e cloreto férrico ( $FeCl_3$ ) são exemplos de coagulantes utilizados. Os hidróxidos de alumínio e ferro são os responsáveis pela formação do floco (LIBÂNIO, 2008). Segundo trabalhos anteriores de tratamento físico químico com lixiviado de aterro sanitário, o pH ideal para a coagulação com  $FeCl_3$  é entre 4 e 5 e para o  $Al_2(SO_4)_3$  é entre 5 e 6 (QUEIROZ *et al.*, 2011).



A reação de coagulação quando o alúmen é adicionado à água contendo bicarbonato de cálcio e magnésio é apresentada na Reação 1. Como produto final há a formação de hidróxido de alumínio que formará o floco responsável pela clarificação do efluente (Metcalf, Eddy, 2016)



## 2 Metodologia

O lixiviado de aterro sanitário utilizado para o teste era proveniente do aterro de resíduos sólidos urbanos de Caxias do Sul, RS, Aterro Rincão das Flores. Este aterro recebe em média 380 ton/dia e está em operação desde março de 2010. O teste foi realizado na própria estação de tratamento do aterro sanitário no dia 17 de setembro de 2015.

O lixiviado utilizado para os testes de coagulação, floculação e decantação havia sido tratado anteriormente por três lagoas facultativas totalizando um volume médio de 49.064 m<sup>3</sup>. A vazão média de lixiviado gerado neste aterro é de 7,5 m<sup>3</sup>/h. Assim o tempo de detenção hidráulica nas lagoas facultativas totaliza 156 dias.

Após a saída das lagoas facultativas, o lixiviado passa por um floculador contínuo a uma vazão de 3 m<sup>3</sup>/h de lixiviado e 15 L/h de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. A operação ocorre em três linhas independentes (cada uma operando com 3 m<sup>3</sup>/h de lixiviado). O coagulante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O com concentração de 50% m/m e massa específica de 1.329 kg/m<sup>3</sup> obtendo desta forma concentração de 270 mg Al<sup>3+</sup>/L, dosagem que é adicionada diretamente ao floculador.

O misturador responsável pela agitação do floculador opera a uma rotação de 4 rpm e é composto por duas pás de dimensões 50 cm de largura por 30 cm de altura. Os floculares operam com 1000 L de volume útil. Após o tratamento no floculador o efluente passa para um decantador de 35 m<sup>3</sup>. O fluxograma do experimento está descrito na Figura 1.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

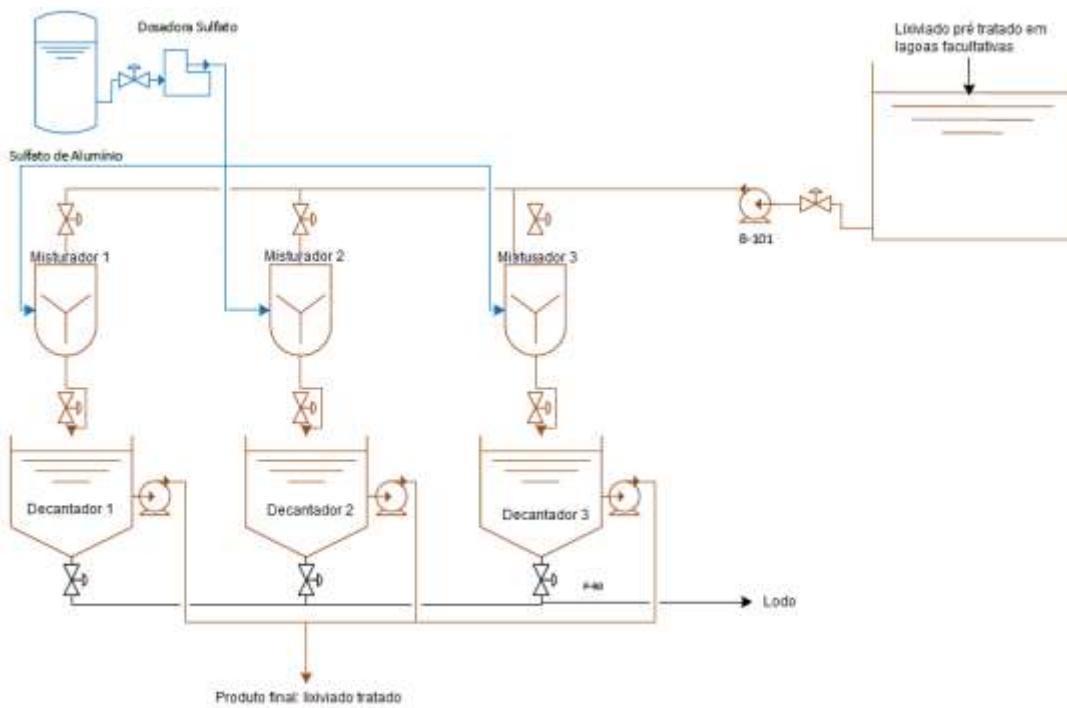


Figura 1- Fluxograma do experimento

Após o processo, o pH do lixiviado foi ajustado com NaOH e o efluente foi caracterizado. As análises e os métodos realizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Métodos utilizados para a caracterização do lixiviado

Análise	Método	Limite de Detecção
Cádmio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 3120 B [PNT003-AB]	0,003
Cálcio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd -Método 3120 B [PNT003-AB]	
Chumbo ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd -Método 3120 B [PNT003-AB]	0,008
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Standard Methods 22 nd - Método 2510 A e B [PNT003-EF]	-
Cromo ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 3120 B [PNT003-AB]	0,004
DBO <sub>5</sub> ( $\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd- Método 5210 B [PNT017-EF]	0,2
DQO ( $\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd- Método 5220 B [PNT013-EF]	4
Magnésio Total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd- Método 3120 B [PNT003-AB]	0,018
Manganês total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 3120 B [PNT003-AB]	0,004
Mercúrio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 3112 B [PNT002-AB]	0,00005
Níquel Total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 3120 B [PNT003-AB]	0,006
Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 4500 NH3 - B e C. [PNT024-EF]	5
Nitrogênio total Kjeldahl ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Métodos 4500 Norg - B e D/4500 NH3 -C. [PNT024-EF]	5
Oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Oxímetro [PNT055-EF]	-
pH	Standard Methods 22 nd - Método 4500 H- B. [PNT002-EF]	-
Sólidos Sedimentáveis ( $\text{mL.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 2540 F [PNT005-EF]	0,1
Sólidos Suspensos Totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 2540 D [PNT011-EF]	7
Sulfato ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Standard Methods 22nd - Método 4500 SO4-2/E [PNT016-EF]	0,05
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Standard Methods 22nd - Método 2550 B [PNT025-EF]	-



### 3 Resultados

Na Figura 2 é apresentada a característica visual do lixiviado antes de passar pelas lagoas de estabilização, após o tratamento nas lagoas de estabilização e após o tratamento de coagulação, floculação e decantação.

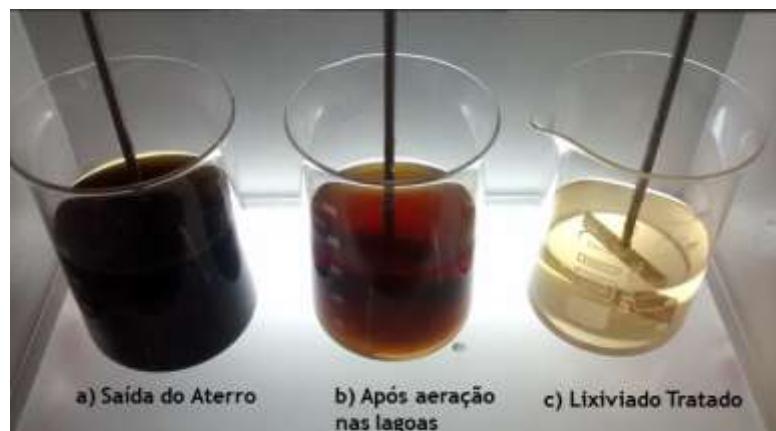


Figura 2- (a): lixiviado após a saída do aterro sanitário, (b) lixiviado após o pré tratamento nas lagoas de estabilização (c) lixiviado após processo de coagulação, floculação e decantação

Os resultados das análises do efluente antes e após o tratamento estão na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados das análises anterior e posterior ao tratamento com coagulante

Parâmetros	Saída lagoas	Tratado final	Eficiência total (%)
Cadmio (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,003	<0,003	-
Cálcio (mg.L <sup>-1</sup> )	Não realizado	103	-
Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,008	<0,008	-
Condutividade (µs/cm)	7940	7010	11,71
Cromo (mg.L <sup>-1</sup> )	0,186	0,035	81,18
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	568	74	86,97
DQO (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	1054	220	79,13
Fosforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	6,22	0,23	96,30
Magnésio Total (mg.L <sup>-1</sup> )	89,8	77,7	13,47
Manganês Total (mg.L <sup>-1</sup> )	4,41	1,4	68,25
Mercúrio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,0018	<0,0001	100
Níquel Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,11	0,032	70,91
N amoniacial (mg.L <sup>-1</sup> )	425	152	64,24
N total Kjeldahl (mg.L <sup>-1</sup> )	433	185	57,27
Oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	3,8	8,3	-
pH	8,7	6,8	-
Sólidos Sedimentáveis (mL.L <sup>-1</sup> )	0,7	3,9	Negativa
Sólidos Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	233	98	57,94
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	141	1786	Negativa
Temperatura (°C)	20,4	16,7	18,14



A reação de dissociação do sulfato de alumínio em contato com efluente é apresentada de forma ideal. Porém neste processo a reação de formação de floco pode ser incompleta além da ocorrência de reações laterais com substâncias presentes no lixiviado (Metcalf, Eddy, 2016).

Os parâmetros de  $\text{DBO}_5$ , DQO, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total Kjeldahl, alcançaram eficiência de remoção de 86,97%, 79,13%, 64,24% e 57,27% respectivamente. Estes resultados estão relacionados a presença de compostos orgânicos passíveis de reagirem com o coagulante, no processo de coagulação, possibilitando a remoção destes por sedimentação. A remoção de nitrogênio é também explicada pelo mesmo processo com substâncias nitrogenadas.

O parâmetro sulfato aumentou consideravelmente devido a dissociação do coagulante utilizado, que foi o sulfato de alumínio. A reação de dissociação foi apresentada na Reação 1. A eficiência de remoção de fósforo total alcançou 96,30% devido à formação de fosfato de alumínio, demonstrando que a utilização deste coagulante e do processo de coagulação, floculação e sedimentação é suficiente para redução deste parâmetro.

Na Figura 3 é apresentada a eficiência dos parâmetros  $\text{DBO}_5$ , DQO, Nitrogênio amoniacal e NTK.

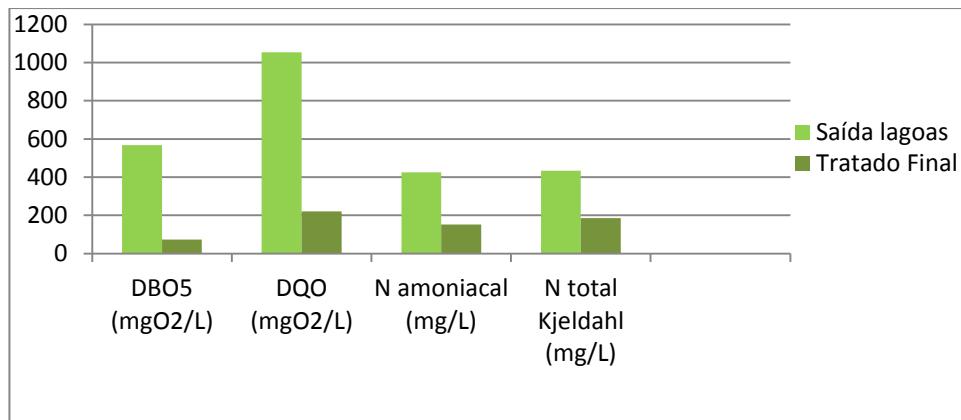


Figura 3- Parâmetros anterior e posterior ao tratamento de coagulação, floculação e decantação

Como resultados deste tratamento foi também observada a redução das concentrações de mercúrio, manganês e níquel utilizando sulfato de alumínio como coagulante. As eficiências obtidas para esses metais foram de 100%, 68,25% e 70,91% para mercúrio, manganês e níquel, respectivamente. O parâmetro condutividade também não obteve queda considerável devido à dissociação de íons provenientes do tipo de coagulante utilizado.



## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o tratamento de coagulação, floculação e sedimentação utilizando sulfato de alumínio em lixiviado de aterro sanitário obtém desempenho elevado com a remoção nos parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl. Apesar do elevado desempenho, o aumento nos parâmetro sulfato e baixo desempenho na remoção de condutividade podem afetar na toxicidade final deste efluente.

## REFERÊNCIAS

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2<sup>a</sup> ed. Campinas, SP: Átomo, 2008.

Tratamento de efluentes e recuperação de recursos [recurso eletrônico] / Metcalf, Eddy ; tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. – 5. ed. – Porto Alegre : AMGH, 2016.

QUEIROZ, Luciano Matos et al. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Eng Sanit Ambient**, Salvador, v. 16, n. 4, p.403-410, 03 nov 2011. Trimestral.

RIGOBELLO, Eliane Sloboda et al. IDENTIFICATION OF ORGANIC COMPOUNDS IN A MUNICIPAL LANDFILL LEACHATE BY GAS CHROMATOGRAPHY COUPLED WITH MASS SPECTROMETRY. **Química Nova**, [s.l.], p.794-800, 07 abr. 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150092>.

RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal Of Hazardous Materials**, Draguignan, France, p.468-493, 26 set. 2007

YAO, Peng. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. **Arabian Journal Of Chemistry**, Xinxiang 453003, Henan, China, p.1-8, 18 set. 2013