

## III-170 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AVALIAR AS CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

### **Maria Monize de Moraes**

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE); Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Gestão Ambiental. Atualmente é professora assistente do Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES-UNITA).

### **Geysiane Augusta de Moraes**

Possui o curso Tecnólogo em Gestão Ambiental. Atualmente é graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

### **Luiz Carlos Zoby Junior**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco.

### **Luiz Martins Pereira Neto**

Possui graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU). Atualmente é mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

### **Mauricio Alves da Motta Sobrinho**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP); Mestrado em Eng. Química pela UFPB (atual UFCG). Doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (França); Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador 1D CNPq.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, PE, Brasil, CEP: 50670-901

## **RESUMO**

A produção e gestão do lixiviado é uma grande problemática ambiental, tendo em vista que esse resíduo pode apresentar altas concentrações de poluentes de difícil degradação. A composição dos lixiviados de locais de disposição de resíduos sólidos é bastante variada, todavia a composição basal é a mesma. O objetivo desse artigo é mostrar os resultados de uma análise da variabilidade nas características físico-químicas de lixiviados gerados em sete diferentes locais de disposição final de resíduos sólidos, como também um levantamento e avaliação dos aspectos e impactos ambientais que podem causar. Para tanto, foram realizadas coletas em aterros situados no estado de Pernambuco e avaliadas as suas características físico-químicas e quantificação de metais pesados. Os dados também foram avaliados através de uma Análise de Componentes Principais (ACP), realizada na linguagem *Matlab*, versão R2016b. A ACP foi realizada com base nos lixiviados coletados e seus parâmetros físico-químicos determinados. Os resultados mostraram que existe variabilidade nas características físico-químicas entre os lixiviados gerados nas diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco.

**PALAVRAS-CHAVE:** Meio Ambiente, Resíduos Sólidos, Impactos Ambientais, Avaliação Ambiental, Aterros Sanitários

## **INTRODUÇÃO**

Lixiviados gerados em locais de disposição final de resíduos sólidos apresentam uma grande variabilidade na sua composição (LANGE et al., 2006). A composição do lixiviado é função: da natureza do tipo de resíduo descartado, do clima, dos fatores hidrológicos, dos padrões de precipitação pluviométrica e da idade do aterro, por causa das reações bioquímicas que ocorrem ao longo da estabilização do aterro (LEE; NIKRAZ; HUNG, 2010). A produção e gestão do lixiviado, portanto, é uma grande problemática ambiental, tendo em vista que esse resíduo pode apresentar altas concentrações de poluentes de difícil degradação.

As características do lixiviado também variam em função da tecnologia de operação utilizada em cada aterro (MANNARINO; FERREIRA; MOREIRA, 2011), assim como do tempo e da fase em que se encontra o aterro (SOUTO, 2009). O autor ainda destaca que o lixiviado é conhecido como “lixiviado novo” na fase ácida e “lixiviado velho” na fase metanogênica e apresentam grandes variações dentro de uma mesma fase.

Todavia, segundo Christenses et al. (2001), em geral, a composição basal é a mesma, que pode ser diferenciada por quatro grupos de poluentes: matéria orgânica dissolvida, expressa em termos da Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT); Ácidos Graxos Voláteis (AGV); compostos mais refratários (como os ácidos húmicos e fúlvicos); compostos inorgânicos; metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos como hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e alifáticos clorados.

Segundo Mandal, Dubey e Gupta (2017), a matéria orgânica dissolvida é representada por uma variedade de compostos como ácidos, álcoois, aldeídos, ácidos graxos voláteis, compostos refratários como ácidos húmicos e fúlvicos. Ainda de acordo com os autores, as substâncias húmicas são formadas por uma série de compostos orgânicos de natureza diferente e sua concentração no lixiviado aumenta com o aumento da idade do aterro.

Segundo Mandal, Dubey e Gupta (2017), a matéria orgânica dissolvida é representada por uma variedade de compostos como ácidos, álcoois, aldeídos, ácidos graxos voláteis, compostos refratários como ácidos húmicos e fúlvicos. Ainda de acordo com os autores, as substâncias húmicas são formadas por uma série de compostos orgânicos de natureza diferente e sua concentração no lixiviado aumenta com o aumento da idade do aterro.

Devido à variação das características do lixiviado, causada pela heterogeneidade dos resíduos dispostos e das mudanças do mesmo mediante a idade do aterro, a determinação e adoção de uma única técnica de tratamento eficaz se torna difícil. Essa classificação do lixiviado de acordo com a idade do aterro é importante como orientação para selecionar qual tratamento é mais adequado para esse lixiviado particular (YONG *et al.*, 2018).

As abordagens de monitoramento de dados por ACP têm recebido muita atenção, pois são potencialmente eficientes para detectar e analisar os processos químicos e bioquímicos (LEE; PARK; VANROLLEGHEM, 2005). De acordo com Santi et al. (2012), essa técnica se baseia na reinscrição das coordenadas das amostras em sistemas mais convenientes para a análise dos dados.

Essa técnica pode ser utilizada ainda como uma ferramenta para melhor compressão, tendo em vista que reduz a dimensão da matriz de dados originais, isso porque as primeiras componentes principais terão contribuição maior nas variáveis representadas pela maior variância no conjunto de medidas experimentais realizadas, facilitando, assim, melhor compreensão e visualização dos dados (COSCIONE et al., 2012). Sendo assim, os autores afirmam que é possível utilizar essa técnica na identificação de um conjunto mínimo de variáveis ou ainda em medições necessárias para esclarecer sobre a variância de determinado conjunto de dados.

A produção e gestão do lixiviado, portanto, é uma grande problemática ambiental, tendo em vista que esse resíduo pode apresentar altas concentrações de poluentes de difícil degradação. Sendo assim, os objetivos do trabalho foram avaliar a variabilidade nas características físico-químicas, utilizando a ferramenta estatística de Análise de Componentes Principais (ACP).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A área de estudo do trabalho contempla sete dos aterros para disposição de RSU do estado de Pernambuco, os quais estão localizados nas mesorregiões do Agreste, Zona da Mata e Região Metropolitana do Recife. Os locais de destinação de resíduos sólidos estudados envolvem: aterro controlado (AC), aterro sanitário (AS) e Central de Tratamento de Resíduos (CTR). Os aterros que fizeram parte do estudo estão localizados nas cidades de: Garanhuns, Lajedo, Caruaru, Gravatá, Escada, Igarassu e Jaboatão dos Guararapes (Aterro da Muribeca).

Foram realizadas duas coletas em cada aterro, em anos consecutivos, 2016 e 2017, e na mesma época, isto é, no verão. Após a coleta, todas as amostras foram acondicionadas em bombonas plásticas e armazenadas em freezer, local como mínima exposição ao ar, a aproximadamente 4°C, para que suas características fossem preservadas, até sua utilização.

Ainda para avaliar a variabilidade nas características, as amostras coletadas foram avaliadas quanto aos seguintes parâmetros: pH, Cor, Turbidez, Condutividade elétrica, Demanda Química de Oxigênio Total (DQO<sub>T</sub>), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), Sólidos Totais (ST) e quantificação dos metais pesados.

Os metais pesados analisados foram: alumínio total, cromo total, ferro total, manganês total, mercúrio total e zinco total

Também foi utilizado o método estatístico de Análise de Componentes Principais (ACP), realizada na linguagem *Matlab*, versão R2016b. A ACP foi realizada com base nos lixiviados coletados e seus parâmetros físico-químicos determinados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO DOS LIXIVIADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros de caracterização analisados em cada lixiviado.

**Tabela 1: Caracterização dos lixiviados.**

Parâmetro	Aterros													
	Garanhuns		Lajedo		Caruaru		Gravatá		Escada		Igarassu		Muribeca	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
pH	8,7	8,4	7,8	7,9	7,5	8,2	6,9	8,8	6,6	8,8	7,6	8,2	7,9	8,6
Condutividade elétrica (mS.cm <sup>-1</sup> )	33,5	55,4	32,82	77,8	60,6	68,7	19,1	52	28,52	43,6	21,94	50,4	16,9	81,9
Cor (Hazen)	28.700	6.750	7.200	6.750	4.800,0	4.650	2.900	7.500	4.000	1.850	4.300	2.750	2.450	1100
Turbidez (NTU)	755	368	150	109,5	100	261	190	234	408	100,5	396	358,5	120	143
DQO <sub>T</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	31.093	10.486	4.198	4.943	9.175	4.397	2.134	6.131	8.167	2.006	4.295	6.088	2.669	1.798
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	150	-	300	-	400	-	300	-	325	-	450	-	162,5
DBO <sub>5</sub> / DQO <sub>T</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	0,01	-	0,06	-	0,09	-	0,05	-	0,16	-	0,07	-	0,09
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	97.520	16.556	12.680	13.163	26.760	15.171	8.620	14.720	5.815	14.922	7.120	6.691	5.000	3284
Alumínio Total (mg Al.L <sup>-1</sup> )	-	0,89	-	0,59	-	0,37	-	1,31	-	0,07	-	0,75	-	0,40
Cromo Total (mg Cr.L <sup>-1</sup> )	-	0,27	-	1,06	-	0,21	-	0,36	-	0,05	-	0,13	-	0,14
Ferro Total (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	-	11,55	-	4,13	-	3,95	-	5,35	-	4,77	-	3,79	-	4,21
Manganês Total (mg Mn.L <sup>-1</sup> )	-	0,14	-	0,74	-	0,25	-	0,15	-	<0,03	-	0,25	-	0,03
Mercúrio Total (mg Hg.L <sup>-1</sup> )	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01
Zinco Total (mg Zn.L <sup>-1</sup> )	-	0,37	-	0,19	-	0,11	-	0,32	-	0,1	-	0,25	-	0,10

Todos os lixiviados coletados apresentaram uma intensa coloração marrom escura. De acordo com Silva *et al.* (2016), essa coloração é característica desse efluente e se dá, principalmente, devido a presença de substâncias húmicas.

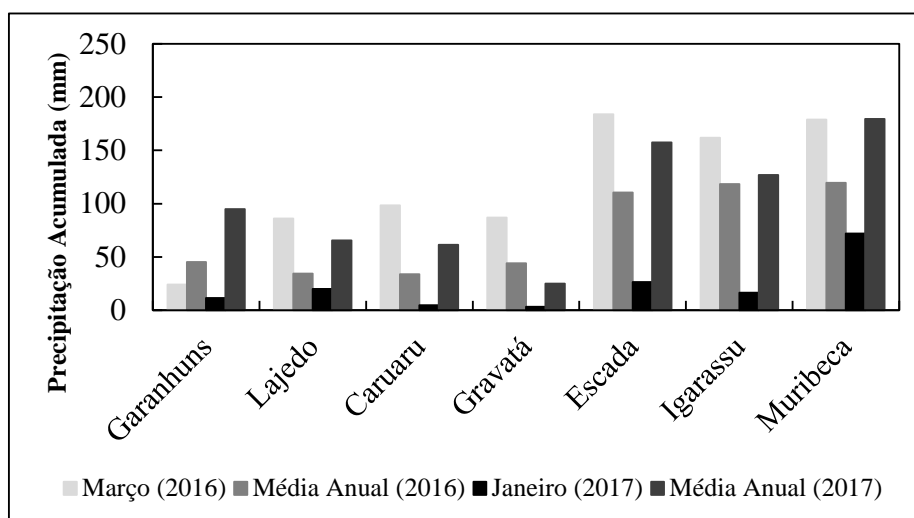
Na primeira coleta (ano de 2016) os valores de ST variaram de 5.000 a 97.000 mg.L<sup>-1</sup>. Já na segunda coleta somente o lixiviado do aterro de Muribeca apresentou a concentração mais baixa de ST (3.284 mg.L<sup>-1</sup>) em relação aos demais, em que variou entre 6.000 e 17.000 mg.L<sup>-1</sup>. É importante destacar que, de acordo com Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993) aterros maduros podem ter valores mais baixos de ST, como é o caso do lixiviado proveniente do aterro da Muribeca, que já está encerrado e, portanto, foi o que apresentou menor concentração de ST.

Ressalta-se ainda que, os valores encontrados estão dentro da faixa mais provável de concentração de ST para os aterros de resíduos sólidos do Brasil está entre 3.200 e 14.400 mg.L<sup>-1</sup> (SOUTO; POVINELLI, 2007). Observando os valores de concentração de DQO<sub>T</sub>, obtidos na caracterização dos lixiviados coletados em 2016, nota-se que, apesar dos aterros estarem localizados em diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco, os valores não se distanciaram muito, com exceção da DQO<sub>T</sub> do aterro sanitário do município de Garanhuns, que apresentou um valor pouco acima de 30.000 mg.L<sup>-1</sup>, diferentemente dos demais aterros, que ficaram abaixo das 12.000 mg.L<sup>-1</sup>.

Na segunda coleta, realizada no ano de 2017, o lixiviado coletado no aterro sanitário de Garanhuns apresentou DQO<sub>T</sub> de 10.480 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que os demais lixiviados apresentaram DQO<sub>T</sub> abaixo de 6.500 mg.L<sup>-1</sup>. Através dos resultados da DQO<sub>T</sub> todos os aterros estudados podem estar na fase 3 de degradação (ácida) (SOUTO, 2009). Essa fase é quando se inicia a oxidação dos ácidos voláteis e dos ácidos graxos de cadeia longa para ácido acético e hidrogênio.

Apesar do aterro de Garanhuns ter apresentado uma DQO<sub>T</sub> elevada, de acordo com Souto e Povinelle (2007), está dentro da faixa dos aterros do Brasil. Li *et al.* (2016) explicam que o lixiviado é de fato um efluente com uma elevada carga poluidora, pois é formado por uma mistura complexa de compostos orgânicos, amônia, metais pesados e sais orgânicos.

A concentração de DQO<sub>T</sub> no lixiviado varia, dentre outros fatores, em função da precipitação pluviométrica e da capacidade de infiltração do material de cobertura do aterro sanitário. Acerca da precipitação pluviométrica nos meses de coleta de lixiviado, os dados da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC) mostraram que a precipitação acumulada no mês que antecedeu a coleta em 2016 foi maior que a acumulada no mês que antecedeu a coleta de 2017 (Figura 1). A partir dos dados, foi possível verificar que, em geral, as diferenças na DQO<sub>T</sub> dos lixiviados para as duas coletas não sofreu influência direta da precipitação.



**Figura 1: Média da precipitação nas cidades onde estão localizados os aterros estudados.**

Fonte: Elaborado a partir dos dados da APAC.

Observando os dados das relações DBO<sub>5</sub>/ DQO<sub>T</sub> obtidos para os aterros estudados e comparando com os dados de Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993), pôde-se inferir que o lixiviado gerado em Escada a relação DBO<sub>5</sub>/ DQO<sub>T</sub> foi de 0,12, apresentou, portanto, uma biodegradabilidade intermediária.

Os lixiviados coletados nos aterros de Garanhuns, Lajedo, Caruaru, Gravatá, Igarassu e Muribeca a relação DBO<sub>5</sub>/ DQO<sub>T</sub> foi de 0,01, 0,06, 0,09, 0,05, 0,07 e 0,09 respectivamente, atestando que os são pouco biodegradáveis. A baixa biodegradabilidade dos lixiviados está associada a presença de substâncias húmicas e constituintes recalcitrantes de difícil biodegradação (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1993; EL-FADEL, 2002; SEIBERT *et al.*, 2017).

Os valores apresentados são característicos de aterros com lixiviados podem já se encontrar estabilizados são bastante recalcitrantes. O lixiviado maduro é ainda mais complexo, pois apresenta elevadas concentrações de

ácidos húmicos e fúlvicos, bem como sais e baixo índice de  $DBO_5/DQO_T$ , em geral essa relação é menor do que 0,1 (MORAIS; ZAMORA, 2005).

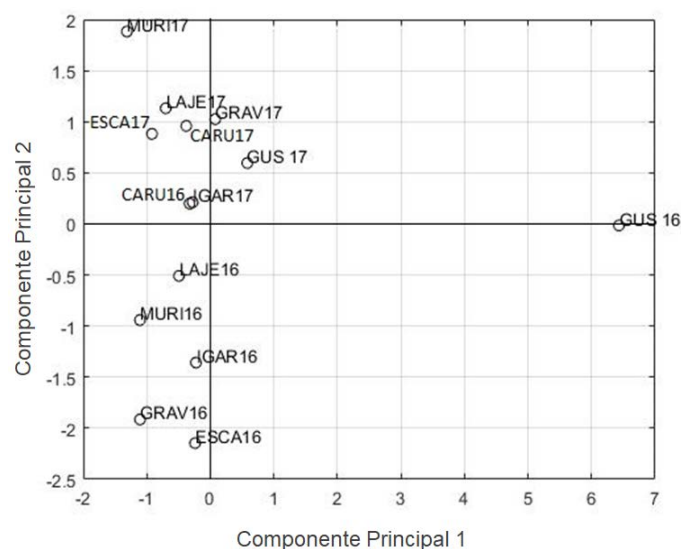
Dentre os metais analisados, somente o ferro estava presente em concentrações elevadas em todos os lixiviados, que pode ser oriundo do solo, uma vez que apresenta alta concentração desse metal. Para Seibert *et al.* (2017), o fato do pH ter se apresentado como alcalino e a condutividade determinada ter sido elevada, pode sugerir a presença de frações de poluentes inorgânicos, como o ferro, assim como a presença de sólidos que possam atenuar a capacidade de transferência de luz, produzindo uma turbidez elevada.

Os demais metais analisados foram encontrados em baixas concentrações. Comparando com os padrões de lançamento da Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), todas as concentrações de metais encontradas nos lixiviados estão em acordo os valores que a norma específica.

#### ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Os dados obtidos na caracterização dos lixiviados coletados nos aterros sanitários nos anos de 2016 e 2017 também foram estudados a partir de uma ACP. A matriz total dos dados representada no espaço tem as seguintes dimensões: 7 amostras e 6 variáveis e foi obtido um modelo satisfatório com 2 componentes principais (CP), visto que sua variância total foi de 86,11% das variáveis originais, em que pela análise das CP, a CP1 e a CP2 explicam respectivamente 61,41% e 24,70%, respectivamente, dessa variância.

A Figura 2 mostra os escores das amostras das CP1 e CP2 para as coletas de lixiviado realizadas em nos anos de 2016 e 2017.



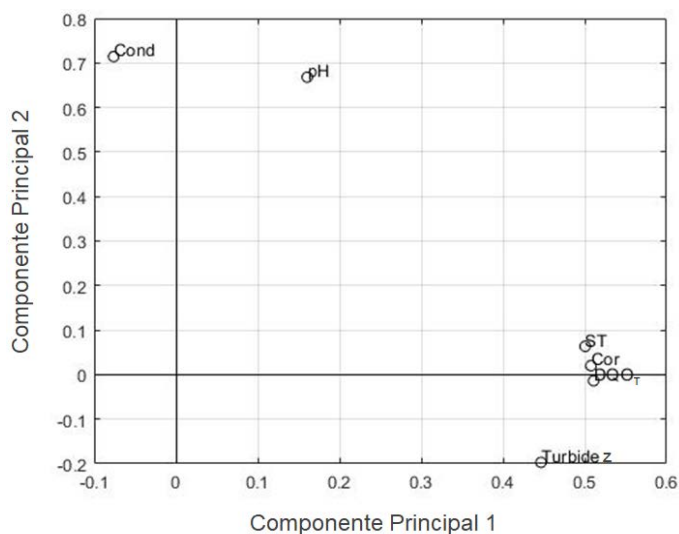
**Figura 2: Amostras (scores) das CP1 e CP2 para as coletas e composição físico-química dos lixiviados estudados.**

De acordo com o observado na Figura 2, o grupo que apresentou maior influência negativa para o hemisfério esquerdo inferior foi composto pelas coletas de lixiviado realizadas no ano de 2016 nos aterros de Escada, Gravatá, Igarassu, Muribeca e Lajedo. A partir dos dados apresentados, pode-se observar que na CP1 o grupo que apresentou influência negativa foi formado pelos lixiviados coletados em Caruaru (CARU16), Lajedo (LAJE16), Muribeca (MURI16), Igarassu (IGAR16), Gravatá (GRAV16) e Escada (ESCA16), coletados no ano de 2016 (primeira fase da pesquisa), e pelos lixiviados de Muribeca (MURI17), Lajedo (LAJE17), Caruaru (CARU17) e Igarassu (IGAR17) coletados no ano de 2017 (segunda fase da pesquisa).

Já a influência positiva o grupo foi formado pelos lixiviados de Garanhuns (GUS17) (coletado no ano de 2016) e, Gravatá (GRAV17) e Garanhuns (GUS17) (ambos coletados em no ano de 2017). Na CP2, os lixiviados de Lajedo (LAJE16), Muribeca (MURI16), Igarassu (IGAR16), Gravatá (GRAV16) e Escada (ESCA16) (coletados em 2016) formaram o grupo que apresentou influência negativa. Ainda na CP2, com

exceção do lixiviado de Garanhuns (GUS16) (coletado no ano de 2016), que não influenciou, todos os demais apresentaram influência positiva.

A Figura 3 apresenta as amostras (scores) das CP1 e CP2 para a composição físico-química dos lixiviados estudados.



**Figura 3: Amostras (scores) das CP1 e CP2 para a composição físico-química dos lixiviados estudados.**

A partir dos dados apresentados na Figura 3 é possível observar que na CP1 somente a condutividade elétrica (Cond) apresentou influência negativa, todos os demais parâmetros comparados apresentaram influência positiva. Já na CP2 o grupo que apresentou influência negativa foi formado pelos parâmetros: Turbidez e DQOT. Os demais parâmetros: Condutividade elétrica, pH, ST e Cor, formaram o grupo que apresentou influência positiva.

## CONCLUSÕES

As caracterizações mostraram que, apesar dos aterros estarem localizados em diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco, os lixiviados apresentaram pouca variabilidade na composição e estão dentro da faixa características dos aterros do Brasil. Com relação a biodegradabilidade, o lixiviado gerado Escada apresentou uma biodegradabilidade intermediária. Os demais lixiviados foram classificados como pouco biodegradáveis. Os valores de DQO indicam que os aterros podem estar na fase ácida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EL-FADEL, M.; DOUSEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLIC, B. Factors influencing solid waste generation and management. **Waste Management**, v. 22, p. 269 – 276, 2002.
2. LANGE, L. C.; ALVES; AMARAL, J. F.; M. C. S, MARAL; MELO JÚNIOR, W. R. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Eng. Sanit. Ambient.** V.11, N. 2, p. 175-183, 2006.
3. LEE, A. H.; NIKRAZ, H.; HUNG, Y. T. Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 1, n. 4, p., 347-350, 2010.
4. LEE, D. S.; PARK, J. M.; VANROLLEGHEM, P. A. Adaptive multiscale principal component analysis for on-line monitoring of a sequencing batch reactor. **Journal of Biotechnology**, v.116, p.195–210, 2005.
5. MANDAL, P.; DUBEY, B. K.; GUPTA, A. K. Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges and future scope. **Waste Management**, v.69, p. 250–273, 2017.
6. MANNARINO, C. F.; MOREIRA, J. C.; FERREIRA, J. A.; ARIAS, A. R. L. Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática. **Ciência & Saúde Coletiva [online]**, v. 18, n. 11, p.3235-3243, 2013.
7. MORAIS, J. L.; ZAMORA, P. G. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**, v. 123, n. 1-3, p. 181-186, 2005.



8. SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357, 2012.
9. SILVA, T. F.C.V.; FONSECA, A.; SARAIVA, I.; BOAVENTURA, R. A.R.; VILAR, V. J.P. Scale-up and cost analysis of a photo-Fenton system for sanitary landfill leachate treatment. **Chemical Engineering Journal**, v.283, p.76–88, 2016.
10. SOUTO, G. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade Federal de São Carlos (USP). São Carlos. 2009.
11. SOUTO, G. D. B. POVINELLI, J. **Sanitary Landfills in Brazil: Leachate Strength Data**. In: 3º Simpósio Brasil-Alemanha Desenvolvimento Sustentável, 2007.
12. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. (1993) **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. Part V. Closure, Restoration and Rehabilitation of Landfills. Ed. Irwin McGraw-Hill.