

## II-237 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ECOTOXICOLÓGICA DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS DE DIFERENTES IDADES

**Marina Andrada Maria<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Especialista em Tecnologia Ambiental pela Escola de Engenharia da UFMG. Técnica em Meio Ambiente pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Prestadora de serviços no CETEC.

**Liséte Celina Lange**

Química. Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Londres – Inglaterra. Profª. Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São João Batista do Glória, 300 – Jardim Leblon - Belo Horizonte - MG - CEP: 31540-100 - Brasil - Tel: (31) 9272-1197 - e-mail: [marinandrada@yahoo.com.br](mailto:marinandrada@yahoo.com.br)

### RESUMO

Os aterros sanitários são amplamente utilizados no Brasil e apesar de serem obras planejadas de engenharia, acabam por gerar lixiviados, que se mal administrados e tratados podem causar impactos ao meio ambiente e prejuízos ao homem. Esse trabalho visa caracterizar físico-química e biologicamente o lixiviado de dois aterros sanitários da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Sua relevância está em comparar as características do lixiviado de aterros de diferentes idades de operação, evidenciando as possíveis alterações acarretadas pela sua maturação, assim como, conhecer sobre a ecotoxicidade destes efluentes, já que estes dados inexistem para a RMBH. Além disso, o banco de dados gerado poderá subsidiar o planejamento e a escolha de tratamento mais eficiente para esse efluente. Foram realizadas coletas mensais, no período de novembro de 2009 a outubro de 2010, totalizando 12 campanhas. A análise estatística comparativa entre os aterros evidenciou que as diferenças são significativas para quase a totalidade dos parâmetros avaliados, com exceção da  $CE_{50}$ . Acredita-se que a diferença de idade entre os aterros e, por conseguinte o grau de estabilidade do lixiviado pode ter conduzido a esses resultados, uma vez que as características dos resíduos aterrados são próximas. Os resultados apontam que o teor de matéria orgânica recebido pelo aterro direciona as diferenças, uma vez que o aterro velho já não recebe resíduos, tendo sua taxa de matéria orgânica reduzida, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniaco, NT, sólidos e alcalinidade. A ecotoxicidade, através da análise estatística, foi associada à alcalinidade, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico total e condutividade. Também foi possível observar um menor valor de coeficiente de variação, para o lixiviado do aterro velho, indicando uma maior estabilidade da massa de resíduos, provavelmente pela finalização do aterramento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro sanitário, Lixiviado, Ecotoxicologia, Toxicidade, Caracterização físico-química.

### INTRODUÇÃO

A geração de lixiviado pelos aterros sanitários é uma grande problemática para essa atividade, por ser um efluente variável e de difícil tratamento. Na RMBH muitos aterros encaminham o lixiviado gerado, para tratamento pela companhia de saneamento de Minas Gerais (COPASA), que recebe esse efluente quando de acordo com o estabelecido na norma técnica T. 187/0.

O lixiviado engloba o líquido gerado a partir da combinação da umidade inicial dos resíduos, com a água gerada durante o processo de decomposição biológica e a água de infiltração na camada de cobertura da célula do aterro. Este é caracterizado pelas altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras. Por apresentar substâncias altamente solúveis, pode contaminar as águas do subsolo nas proximidades do aterro sanitário (MOREIRA, LANGE e FLORA, 2007).

O lixiviado pode causar além de riscos para a saúde, danos a vegetação, odores desagradáveis, recalque de aterros, poluição de águas subterrâneas e superficiais (EL-FADEL, FINDIKAKIS e LECKIE, 1997).

A qualidade do lixiviado produzido depende do tipo de resíduo depositado, do regime pluviométrico da região e da idade e tipo de operação do aterro, de forma que a toxicidade do lixiviado pode variar não só entre aterros, como também dentro do próprio aterro. Porém a complexa química envolvida na formação dos lixiviados ainda tem de ser delineada em termos de respostas toxicológicas (KOSKY et al., 2007).

Diante dessas reflexões, o presente trabalho tem por objetivo correlacionar características físicas, químicas e ecotoxicológicas de lixiviados de aterros sanitários de diferentes idades de operação. Tendo também como relevância, conhecer um pouco da ecotoxicidade desse efluente, que apesar de ser um parâmetro já exigido pela legislação de lançamento de efluentes, ainda não é comumente avaliada em monitoramentos, nem se tem conhecimento da sua magnitude em lixiviados de aterros em geral. Tem-se também importância por permitir que se conheçam melhor as diferenças relacionadas à maturidade de lixiviados gerando informações importantes para a compreensão da sua variação e dinâmica. Ainda os dados gerados servirão como um banco de dados que possa subsidiar o planejamento e a escolha de tratamento mais eficiente para esse efluente

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia será apresentada separadamente para as etapas pré-analíticas, parâmetros avaliados e análise estatística. As etapas serão descritas a seguir:

### LOCAIS DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Os lixiviados estudados advêm de aterros localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Os aterros foram escolhidos utilizando como premícia o tempo de funcionamento. Os aterros foram identificados por códigos, sendo A1 (jovem) e A2 (velho) (TAB. 1).

**Tabela 1: Características dos aterros sanitários avaliados**

Aterros	Características
A1	Aterro sanitário, planejado, com 5 anos de operação. Recebe inertes. Impermeabilizado com geomembrana de PEAD e coberto com inerte e terra. Recebe em média 3.500 t/dia.
A2	Aterro sanitário adaptado de um aterro controlado. Encontra-se finalizado há 3 anos, após 32 anos de operação. Recebeu resíduo domiciliar e inerte. Impermeabilizado com solo e em algumas áreas com argila. Foram aterrados aproximadamente 26 milhões de toneladas.

### COLETA E ARMAZENAMENTO

Foram realizadas coletas mensais, no período de novembro de 2009 a outubro de 2010.

Em ambos a coleta foi realizada na caixa de passagem, de forma a amostrar o lixiviado bruto, antes do tratamento. As amostras dos lixiviados foram coletadas em frascos de coleta amarrados a uma corda, devido a profundidade da caixa de passagem, sendo imediatamente transferido para o frasco de amostra.

Momento antes de cada coleta foi feita a rotulagem dos frascos, com o nome do ponto de coleta, data, hora e condição do tempo, além da coleta dos metadados, tais como, medidas de vazão e temperatura do lixiviado.

Em cada ponto foi coletado um frasco de cinco litros que posteriormente, no laboratório, foi repartido e direcionado para as diferentes análises e armazenado como estoque. Optou-se por essa metodologia de repartição em laboratório por questões de logística, facilitando o acondicionamento e transporte durante a coleta.

O frasco estoque foi armazenado em freezer, mantendo-o congelado. Todos os demais foram mantidos sob refrigeração até o momento do ensaio e congelados em casos de atraso na execução dos mesmos.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA CONVENCIONAL

A caracterização físico-química foi realizada em triplicata e consiste da avaliação dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO); potencial hidrogeniônico (pH); alcalinidade; temperatura; condutividade elétrica; carbono orgânico total (COT); nitrogênio total (NT); nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV).

As análises foram realizadas em conformidade com as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

O pH foi medido utilizando-se um potenciômetro de bancada, modelo PM 608, marca Analion, enquanto que a condutividade foi medida com um condutivímetro de campo, modelo LF 325, marca WTW.

As análises de carbono orgânico total e nitrogênio total foram feitas com as amostras filtradas, em membrana GF-3 (0,6  $\mu\text{m}$ ), utilizando-se um equipamento composto por um injetor automático de amostra, modelo ASI-V e marca Shimadzu e um analisador modelo TOC-VCPN, da mesma marca. O nitrogênio total foi obtido por um analisador de modelo TNM-1, acoplado ao analisador de COT, que fornece uma análise simultânea de COT/NT (FIG. 5).

## CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA

A caracterização ecotoxicológica foi feita através de ensaios de toxicidade aguda e crônica. A metodologia para os testes de toxicidade aguda segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 12713 (2006) que estabelece a toxicidade aguda para *Daphnia similis* através da estimativa da concentração que causa efeito agudo por imobilidade e/ou mortalidade a 50% dos organismos, em 48 horas de exposição (concentração efetiva mediana,  $CE_{50;48h}$ ). Os resultados foram analisados estatisticamente através do programa PROBIT 1.5.

Para os testes de toxicidade crônica, utilizou-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 13373 (2006) onde é observada a reprodução, sobrevivência, crescimento dos organismos e caracteriza-se pela resposta a um estímulo que continua por longos períodos de exposição do organismo ao poluente. O período de realização do teste é em torno de 8 dias, sendo considerado representativo do ciclo de vida da espécie *Ceriodaphnia dubia*. Ao final do teste, quantifica-se o número de jovens nascidas, e a sobrevivência das adultas. O resultado obtido através da análise estatística efetuada com o programa TOXTAT 3.3 é dado em CENO (maior concentração de efeito não observado) e CEO (menor concentração de efeito observado), porém optou-se por utilizar o VC (valor crônico) que é obtido pela média geométrica entre o CENO e o CEO, de forma a possuir um valor único para representar a toxicidade crônica.

Os ensaios foram realizados com diluições, utilizando água de nascente canalizada (coletada em uma bica situada na rua Petrolina no bairro Horto em BH), que também é utilizada como controle. As concentrações para as diluições foram determinadas primeiramente com os testes agudos preliminares, através de tentativa e erro, sendo o teste agudo definitivo utilizado como base para a escolha das concentrações do teste crônico.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Por se tratarem de dados ambientais e com um número amostral relativamente pequeno ( $n=12$ ), optou-se pelas análises estatísticas com testes não paramétricos, de forma que além da análise descritiva, utilizou-se para a comparação de um mesmo parâmetro entre o lixiviado dos dois aterros o Teste U de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis, por se tratar de diferença entre dois grupos independentes. Também foram feitos testes de correlação de Spearman entre os parâmetros, para medir a intensidade das relações entre eles, além de análise de exploração multivariada de componentes principais para combinações lineares entre os parâmetros.

O tratamento estatístico foi executado com o auxílio do programa Statistica 7.0, utilizando o nível de significância  $\alpha \leq 0,05$ .

## RESULTADOS OBTIDOS

Primeiro serão apresentados os resultados individuais para cada aterro e posteriormente as comparações e correlações entre ambos.

### CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DO ATERRO A1

Foi realizada a análise descritiva dos dados (TAB. 2), seguida da matriz de correlação entre os parâmetros, onde foram apresentados apenas os parâmetros com valores superiores a 0,60 (TAB. 3).

**Tabela 2: Análise descritiva dos resultados encontrados nas análises do lixiviado do aterro A1**

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	41,0	38,0	44,0	1,5	0,04
Condutividade	mS/cm	12	19,4	16,4	22,9	2,3	0,12
pH	-	12	7,8	7,3	8,1	0,3	0,03
COT	mg/L	9	1208	543	2255	538	0,45
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	12	6611	2052	20792	5754	0,87
Alcalinidade	mg de CaCO <sub>3</sub> /L	12	7952	6650	11875	1430	0,18
NT	mg/L	12	1609	304	1993	437	0,27
N-amoniacal	mg/L	12	1382	104	1990	481	0,35
ST	mg/L	12	10769	7410	15334	2393	0,22
SF	mg/L	12	7548	6186	8572	718	0,10
SV	mg/L	12	3221	1224	6790	1780	0,55
CE <sub>50</sub>	%	12	3,1	1,5	7,3	1,6	0,52
VC	%	12	1,0	0,2	1,7	0,4	0,40

n= número amostral

DP= desvio padrão

CV= coeficiente de variação

**Tabela 3: Matriz de correlação dos parâmetros avaliados para o lixiviado do aterro A1**

Variáveis	Temp	Cond	pH	NT	DQO	N-am	ST	SF	SV	Alc.	CE <sub>50</sub>
Temp.		+	+								
Cond.	+		+	+		+			-	+	-
pH	+			+		+			-	+	-
NT		+	+			+				+	
COT											
DQO							+	+	+		
N-am.		+	+	+						+	-
ST					+			+	+		
SF					+		+		+		
SV		-	-		+		+	+			+
Alc.		+	+	+		+					-
CE <sub>50</sub>		-	-			-			+	-	

Cond.= condutividade

Alc.= Alcalinidade

N-am.= Nitrogênio amoniacal

Temp. = Temperatura

### CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DO ATERRO A2

Foi realizada a análise descritiva dos dados (TAB. 4), seguida da matriz de correlação entre os parâmetros, onde foi apresentado apenas os parâmetros com valores superiores a 0,60 (TAB. 5).

**Tabela 4: Análise descritiva dos resultados encontrados nas análises do lixiviado do aterro A2**

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	36,1	32,0	41,0	2,7	0,07
Condutividade	mS/cm	12	15,2	11,0	18,6	2,4	0,16
pH	-	12	8,1	7,6	8,4	0,2	0,03
COT	mg/L	9	753	257	1097	265	0,35
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	12	2563	1348	4972	1051	0,41
Alcalinidade	mg de CaCO <sub>3</sub> /L	12	5220	3550	6575	901	0,17
NT	mg/L	12	1331	202	1774	419	0,31
N-amoniaco	mg/L	12	1113	94	1644	390	0,35
ST	mg/L	12	6871	4994	10248	1359	0,20
SF	mg/L	12	5267	3904	7484	962	0,18
SV	mg/L	12	1603	1064	2764	510	0,32
CE <sub>50</sub>	%	12	2,3	1,3	5,1	1,0	0,42
VC	%	12	1,4	1,2	2,2	0,3	0,24

n= número amostral

DP= desvio padrão

CV= coeficiente de variação

**Tabela 5: Matriz de correlação dos parâmetros avaliados para o lixiviado do aterro A2**

Variáveis	Temp	Cond	pH	NT	COT	DQO	N-am	ST	SF	Alc.	CE <sub>50</sub>	VC
Temp.			-				-			-		+
Cond.				+			+	+	+	+		-
pH	-						+		+	+		-
NT		+			+		+			+		
COT	-	+	+				+	+	+	+		
DQO											-	
N-am.	-	+	+	+	+				+	+		-
ST		+							+	+		-
SF			+				+	+		+		-
SV								+				-
Alc.	-	+	+	+	+		+	+	+			-
CE <sub>50</sub>						-						
VC	+	-	-				-	-	-	-		

Cond.= condutividade

Alc.= Alcalinidade

N-am.= Nitrogênio amoniacal

Temp. = Temperatura

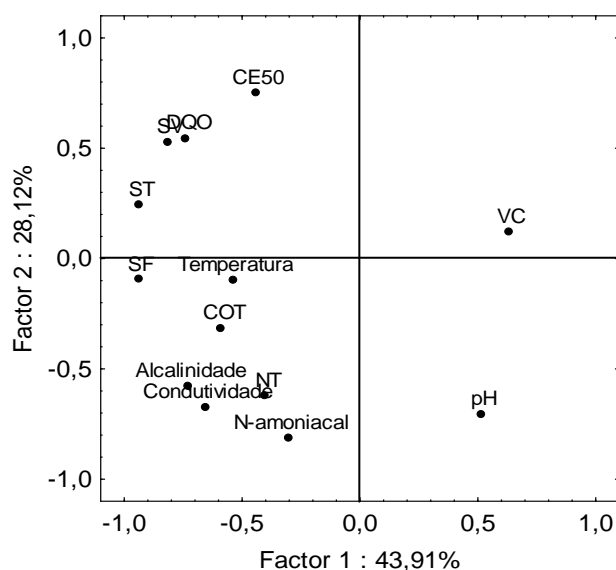
**ANÁLISES DE COMPARAÇÃO ENTRE O LIXIVIADO DOS ATERROS A1 E A2**

Foram realizadas análises de comparação entre os resultados de cada parâmetro para os dois aterros, buscando identificar se houve diferenças significativas entre as variáveis monitoradas (TAB. 6).

**Tabela 6: Resultados dos testes de comparação entre o lixiviado dos dois aterros sanitário**

Variáveis	Kruskal-Wallis	Teste U de Mann-Whitney
Temperatura	A4 significativamente maior que A5	0,001
Condutividade	A4 significativamente maior que A5	0,001
pH	A4 significativamente menor que A5	0,018
COT	A4 significativamente maior que A5	0,024
DQO	A4 significativamente maior que A5	0,002
Alcalinidade	A4 significativamente maior que A5	0,000
NT	A4 significativamente maior que A5	0,015
N-amoniaco	A4 significativamente maior que A5	0,030
ST	A4 significativamente maior que A5	0,000
SF	A4 significativamente maior que A5	0,000
SV	A4 significativamente maior que A5	0,003
CE <sub>50</sub>	Não apresentou diferença significativa	0,166
VC	A4 significativamente menor que A5	0,013

Nível de significância  $\alpha \leq 0,05$



**Figura 1: Análise de componentes principais entre os parâmetros monitorados no lixiviado dos dois aterros sanitário**

## DISCUSSÃO

A análise descritiva individualizada do lixiviado de cada aterro sanitário permitiu confirmar para ambos os aterros que esse efluente é rico em matéria orgânica, apresenta elevada toxicidade aguda e crônica e seus resultados são variáveis, gerando um coeficiente de variação elevado para alguns parâmetros, confirmando mais uma vez a distribuição anormal dos resultados. Os valores de coeficiente de variação são mais baixos para o lixiviado do aterro A2, indicando uma maior estabilidade da massa de resíduos, provavelmente pela finalização do aterramento.

As tabelas 3 e 5 evidenciaram para o lixiviado de ambos os aterros correlações importantes que permitem a melhor compreensão da dinâmica dos aterros, tais como a correlação entre condutividade, sólidos, alcalinidade, N-amoniaco e pH. Fica claro também a relação da alcalinidade, condutividade, pH e N-amoniaco com VC e CE<sub>50</sub>. Lembrando que quanto maior os valores de VC e CE<sub>50</sub>, menor a toxicidade. Essas correlações podem ser confirmadas pela análise de componentes principais (FIG.1), onde também fica claro a correlação inversa do VC e demais combinações.

A análise comparativa entre os aterros (TAB. 6) evidenciou que as diferenças são significativas para quase a totalidade dos parâmetros avaliados, com exceção da CE<sub>50</sub>. Acredita-se que a diferença de idade entre os aterros e por conseguinte o grau de estabilidade do lixiviado, pode ter conduzido a esses resultados, uma vez que as características dos resíduos aterrados são próximas. Devido à finalização do aterramento, foi reduzida a taxa de matéria orgânica, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniaco, NT, sólidos e alcalinidade.

Quanto aos resultados ecotoxicológicos, foi constatada elevada toxicidade, crônica e aguda, para o lixiviado dos dois aterros. A análise estatística evidenciou que a toxicidade crônica é significativamente maior no lixiviado do aterro A1 (VC menor), onde também foi observado maior coeficiente de variação, demonstrando a variabilidade da toxicidade em lixiviado de aterros jovens, ou de aterros em operação. Já a toxicidade aguda não apresentou diferença significativa entre os lixiviados, mas é possível perceber através da análise descritiva que o lixiviado do aterro A2 apresentou maior toxicidade aguda, podendo ser justificada pela maior concentração de compostos recalcitrantes, pois nem as variáveis que reduziram a toxicidade crônica foram capazes de reduzir a toxicidade aguda, para esse aterro. A CE<sub>50</sub> pode não ter apresentado diferença significativa entre o lixiviado dos aterros, pois como pode ser visto da figura 1 e nas duas matrizes de correlação (TAB. 3 e 5), esse parâmetro não está relacionado à tantos parâmetros como o VC, principalmente aos parâmetros que apresentam maiores diferenças entre os aterros.



## CONCLUSÃO

O foco da diferença entre os aterros estudados foi o tempo de operação, uma vez que ambos são aterros sanitários, com aterramento de resíduo domiciliar e inerte, porém o A1 possui 5 anos de operação e o A2 está no terceiro ano de finalização após 32 anos de operação. Desta forma a maturação do resíduo foi a principal ocasionadora de diferenças.

As análises de comparação entre o lixiviado de aterros jovens e velhos mostraram que devido à finalização do aterramento, foi reduzida a taxa de matéria orgânica, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniaco, NT, sólidos e alcalinidade.

Os resultados apontam que o teor de matéria orgânica recebido pelo aterro direciona as diferenças, uma vez que o aterro velho já não recebe resíduos, tendo sua taxa de matéria orgânica reduzida, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniaco, NT, sólidos e alcalinidade. Essa redução de valores causou diferença significativa entre os lixiviados, além de influenciar as diferenças de toxicidade, pois os valores de  $CE_{50}$  e VC estão inversamente relacionados à esses parâmetros. Também foi possível observar um menor valor de coeficiente de variação, para o lixiviado do aterro velho, indicando uma maior estabilidade da massa de resíduos, provavelmente pela finalização do aterramento.

## RECOMENDAÇÕES

É importante, para que se conheçam melhor as variações decorrentes da maturação de lixiviados, que se trabalhe com dados históricos de monitoramento, conhecendo em um mesmo aterro o seu lixiviado em fase jovem e velha, com um significativo número amostral. Também se faz necessário que a ecotoxicologia passe a fazer parte do monitoramento de efluentes como esse e que novos trabalhos sejam realizados com o objetivo não só de conhecer essa toxicidade, como também de identificar os compostos tóxicos, além de influenciar na permissão do lançamento em cursos d'água.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, à Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, por terem apoiado e viabilizado essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AWWA. WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21.ed. Washington, 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13373. Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustácea, Cladocera,). 2006.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12713. Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustácea, Cladocera,). 2006.
4. COPASA – Companhia de saneamento de Minas Gerais. Norma técnica T. 187/0: Lançamento de Efluentes líquidos de indústria na rede pública coletora de esgotos.
5. EL-FADEL, Mutasem; FINDIKAKIS, Ângelo N.; LECKIE, James O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, Califórnia, E.U.A. Journal of Environmental Management, 1997.
6. KOSHY, Lata; PARIS, Emma; LING, Sarah; JONES, Tim; BÉRUBÉ, Kelly. Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfills — assessment of toxicity. Science of the Total Environment 384; 171–181. 2007.
7. MOREIRA, Fernando Augusto ; LANGE, L. C. ; FLORA, Renato Silva . Avaliação da eficiência da remoção de amônia em lixiviados de aterro sanitário através da precipitação como pré e pós tratamento na digestão aeróbia e anaeróbia. Anais do 24 congresso brasileiro de engenharia sanitaria e ambiental-ABES. Rio de Janeiro, v.1. p.1-10; 2007.