



### III-013 - ENSAIOS DE BIODEGRADABILIDADE AERÓBIA E ANAERÓBIA PARA SUBSIDIAR TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS

**Elisa Kerber Schoenell<sup>(1)</sup>**

Gestora Ambiental pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

**Luciana Paulo Gomes**

Professora Titular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (PPGEC/UNISINOS)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade do Vale do Rio dos Sinos.– Laboratório de Saneamento Ambiental - Sala 6B201 Av. Unisinos, 950 - Cristo Rei – São Leopoldo – RS – CEP: 93022-000 – Brasil - Tel: +55 (51) 3591-1122 R. 1783 - Fax: +55 (51) 3591-1122 R. 1702 - e-mail: [elisa.ambiental@gmail.com](mailto:elisa.ambiental@gmail.com)

#### RESUMO

Os lixiviados de aterros sanitários possuem uma composição variável de aterro para aterro e ao longo do tempo em um mesmo aterro. Este efluente necessita de tratamento para ser disposto no meio ambiente, sendo que a avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos lixiviados pode auxiliar na escolha do tipo de tratamento. O objetivo deste trabalho foi estudar métodos de biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia em lixiviados de aterros sanitários contendo alta e baixa concentração inicial de matéria orgânica. Os ensaios de biodegradabilidade foram adaptados e realizados em escala de laboratório, ocorrendo em duplicata, simultaneamente, durante 20 dias. O mesmo lixiviado de entrada foi usado para os ensaios aeróbios e anaeróbios. O experimento aeróbio obteve maior eficiência de remoção de matéria orgânica para todos os ensaios. As maiores remoções de DQO foram encontradas nos ensaios que possuíam uma maior relação DBO/DQO inicial do lixiviado, o que indica que esta relação auxilia na escolha do tipo de tratamento para lixiviados. Porém, os valores finais da concentração de DQO, nas condições ensaiadas, não atingiram a legislação ambiental para descarte de efluente em corpos hídricos, necessitando de um pós ou pré-tratamento físico-químico. Os resultados sugerem que o lixiviado empregado contempla materiais recalcitrantes, ou seja, aqueles que não podem ser tratados biologicamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Biodegradabilidade, Tratamento de Lixiviados.

#### INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é considerado um método adequado para a disposição dos resíduos sólidos no solo, o qual minimiza impactos ambientais. Dentro dos aterros, processos biológicos, físicos e químicos acontecem, os quais estimulam a degradação dos resíduos e resultam na produção de lixiviado e gases.

Os lixiviados de aterro sanitário podem ser definidos como o líquido proveniente da umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram extraídos da massa de resíduos (LANGE e AMARAL, 2009).

Este efluente caracteriza-se por ser escuro, conter alto potencial poluidor e ser geralmente tóxico. Os lixiviados podem ainda conter substâncias perigosas, as quais estão presentes em resíduos que não deveriam estar descartados em aterros sanitários. Por esses motivos, o lixiviado deve ser coletado para tratamento antes de ser disposto no meio ambiente.

Um composto ou efluente é biodegradável quando ele é susceptível à decomposição pela ação de microrganismos, os quais podem usar estes compostos como fonte de energia ou de carbono. Após ocorrer a biodegradação, a matéria orgânica é transformada em produtos mais simples, como água (H<sub>2</sub>O), dióxido de



carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Os lixiviados possuem compostos biodegradáveis e recalcitrantes – de difícil degradação biológica (biodegradação).

A composição do lixiviado é heterogênea e muito variada. Diversas são as características responsáveis por estas variações: composição dos resíduos sólidos, sua quantidade e densidade; condições meteorológicas do local; geologia e geomorfologia; condições de operação do aterro; idade do aterro (estado de degradação); natureza dos resíduos sólidos e topografia (CHISTENSEN et al., 2001; GOMES et al., 2006; LANGE e AMARAL, 2009; SOUTO, 2009; EHRIG e ROBINSON, 2010; BAYRAM et al., 2011).

Para Castilhos Jr et al. (2006), a relação DBO/DQO sugere o estágio de degradação em que o maciço de resíduos se encontra. Teoricamente, é possível dividir-se estes estágios de estabilidade dos aterros sanitários em função da relação DBO/DQO observada nos lixiviados, a saber: DBO/DQO  $>0,5$  indica um aterro novo e instável;  $0,1 > \text{DBO/DQO} > 0,5$  indica um aterro moderadamente estável; DBO/DQO  $< 0,1$  indica um aterro velho e estável. Quanto maior for a relação DBO/DQO, maior será a eficiência de um tratamento biológico, visto que haverá muitos compostos facilmente biodegradáveis.

Em função da diversidade dos lixiviados, várias são as alternativas de tratamento empregadas atualmente, as quais dividem-se em processos Físico-Químicos e Biológicos (aeróbios e anaeróbios). Alguns métodos são caros, outros não tratam este líquido completamente, enquanto outros métodos transferem a poluição e não resolvem o problema ambiental. Portanto, a caracterização e estudo em bancada de laboratório do lixiviado a ser tratado torna-se necessário para a escolha do tipo de tratamento.

A avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia subsidia a determinação da concepção de sistemas de tratamento mais adequado para uma condição específica. A pré-determinação do grau de biodegradabilidade pode evitar problemas futuros com odores, baixas eficiências e custos elevados de manutenção de operação (AMARAL, 2007).

Este trabalho visou estudar métodos de biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia em lixiviados de aterros sanitários contendo alta e baixa concentração inicial de matéria orgânica. Estudou-se a eficiência e o potencial de tratamento de diferentes lixiviados por vias aeróbia e anaeróbia, a fim de subsidiar informações para futuras pesquisas, visto que a caracterização do lixiviado e a escolha do tipo de tratamento é condição básica para qualquer projeto e/ou pesquisa na área.

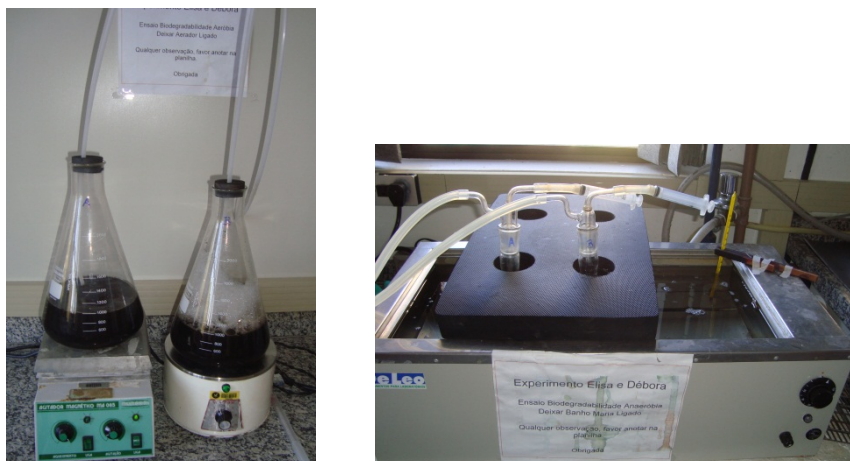
## METODOLOGIA

Os ensaios de biodegradabilidade foram adaptados de Lange (2009), Souto (2005), Amaral (2007) e Castilhos Jr. (2006). Eles foram realizados em escala de laboratório e ocorreram em duplicata (vias A e B), para validar os resultados, simultaneamente, a fim de garantir as mesmas condições de processo e outras variáveis. O mesmo lixiviado de entrada foi usado para os ensaios aeróbios e anaeróbios. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 20 dias.

No Ensaio de Biodegradabilidade Aeróbia utilizaram-se erlenmeyers de 2000 mL com 1000 mL de lixiviado. A fim de se homogeneizar as amostras, foram utilizados barra e agitador magnético. A vazão de ar variou de 220 a 400 mL/min. Para distribuir igualmente a entrada de ar, foram acopladas pedras porosas na saída da mangueira que estava ligada à entrada do ar.

No Ensaio de Biodegradabilidade Anaeróbia utilizaram-se balões volumétricos com boca esmerilhada de 1000 mL com 950 mL de lixiviado. Para a vedação total, utilizou-se vaselina entre a tampa e a boca do balão. Acrescentaram-se seringas na ponta da mangueira, as quais foram utilizadas para coleta. Além disso, foi utilizado um lacre nesta, com o objetivo de evitar escape de gás. Os balões volumétricos com lixiviado permaneceram em banho-maria a  $35^\circ\text{C}$ . Em alguns dos ensaios o tempo de duração foi prolongado para verificar-se o aumento da degradação, visto que é característica dos sistemas de tratamentos anaeróbios demorarem mais para estabilização do sistema e começo da biodegradação da matéria orgânica.

Os ensaios aeróbios e anaeróbios podem ser visualizados na Figura 1.



(a) (b)

**Figura 1: Ensaio de Biodegradabilidade Aeróbia (a) e Anaeróbia (b)**

As análises dos parâmetros realizadas para o acompanhamento dos ensaios aeróbio e anaeróbio, juntamente com a frequência e método (todos conforme APHA,1995) estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1: Análises para acompanhamento dos ensaios de biodegradabilidade.**

Parâmetro	Frequência	Método
DQO	2 x na semana	Refluxo fechado – Merck
DBO	Diário	Manométrico
pH	2 x na semana	Potenciométrico
Temperatura	2 x na semana	Termômetro de mercúrio
STV	Inicial e final	Gravimétrico

Além destas análises, foi calculada a relação DBO/DQO do lixiviado. Para todos os ensaios o pH foi ajustado entre 6,5 e 7,5 a fim de otimizar o estabelecimento de bactérias anaeróbias, possibilitando a degradação da matéria orgânica. Ajustou-se também o pH para os ensaios aeróbios para permitir o uso da mesma amostra inicial entre ensaios aeróbios e anaeróbios.

## RESULTADOS

A Tabela 2 demonstra a caracterização inicial do lixiviado utilizado nos ensaios desta pesquisa.

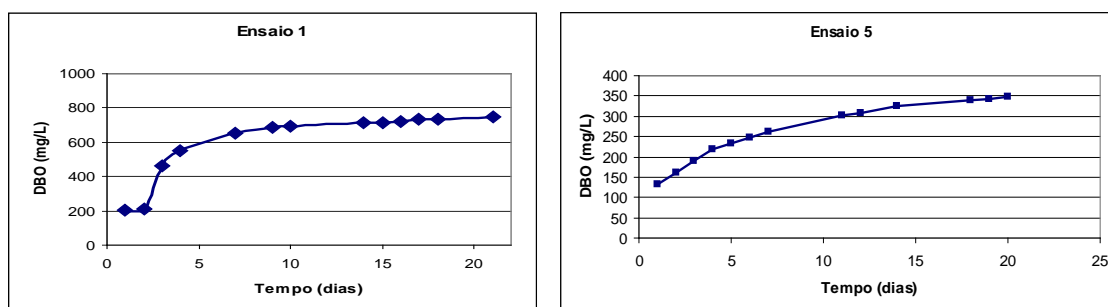
**Tabela 2: Caracterização Inicial do lixiviado utilizado nos ensaios de biodegradabilidade**

Ensaio	pH	T (°C)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO/DQO	STV (mg/L)
1	7,4	24	21500	550	0,03	7220
2	7,2	26	23460	830	0,04	11210
3	7,4	27	1800	610	0,34	2160
4	7,5	22	1540	290	0,19	1370
5	7,3	20	1280	230	0,18	1200
6	7,5	19	13540	6130	0,45	7670

Observando a Tabela 2, os ensaios 1, 2 e 6 utilizaram lixiviado contendo alto teor de matéria orgânica, a qual pode ser visualizada pelos parâmetros DQO e STV. Já os ensaios 3, 4 e 5 utilizaram lixiviado com baixo teor de matéria orgânica. Verificaram-se baixos valores da relação DBO/DQO, os quais não são os mais indicados para tratamento biológico. Apenas no Ensaio 3 e 6 essa relação ficou próxima a valores indicativos de tratabilidade por meios biológicos.

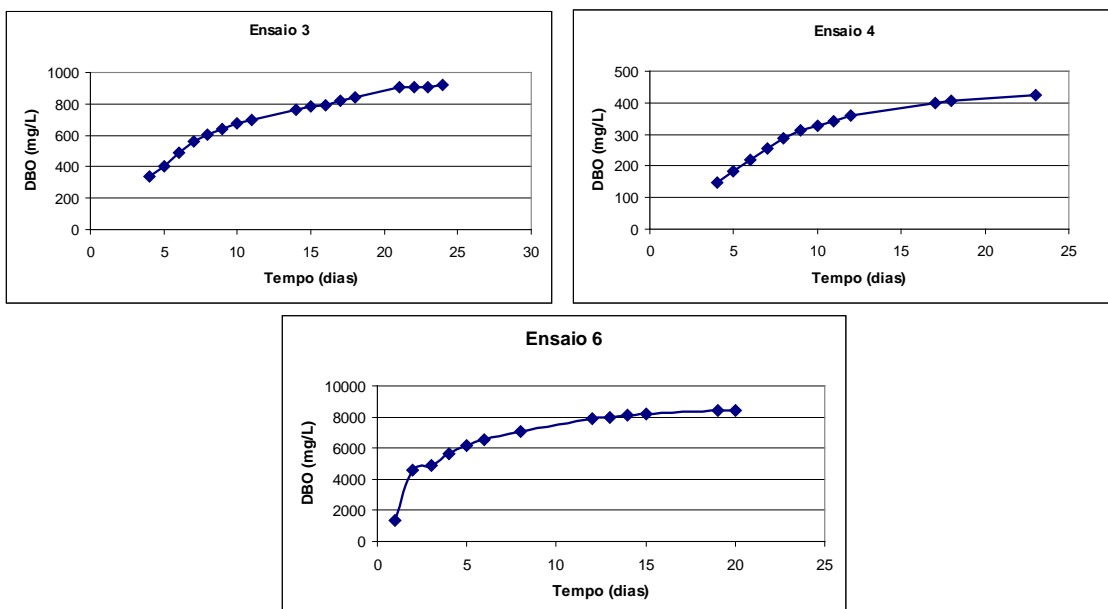
A fim de fazer um comparativo entre os ensaios de biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia, dividiu-se os ensaios em 3 grupos: Grupo 1: Ensaios 1 e 2 (alta concentração inicial de DQO (21500 - 23460 mg/L) e baixa relação DBO/DQO (0,03 - 0,04)); Grupo 2: Ensaios 4 e 5 (baixa concentração inicial de DQO (1280 - 1540 mg/L) e média relação DBO/DQO (0,18 - 0,19)); Grupo 3: Ensaios 3 e 6 (alta relação DBO/DQO (0,34 - 0,45), indicativo de tratabilidade biológica).

O parâmetro DBO se comportou de formas diferentes para os ensaios. No ensaio 2, os valores de DBO extrapolaram a curva de análise (0 - 1000 mg/L) aos 5 dias. Para os ensaios 1 e 5 o valor máximo de biodegradação ocorreu aproximadamente aos 5 dias de ensaio. Com o passar dos dias este valor variou pouco, estabilizando-se aos 20 dias, o que pode ser observado nas Figuras 2 e 3.



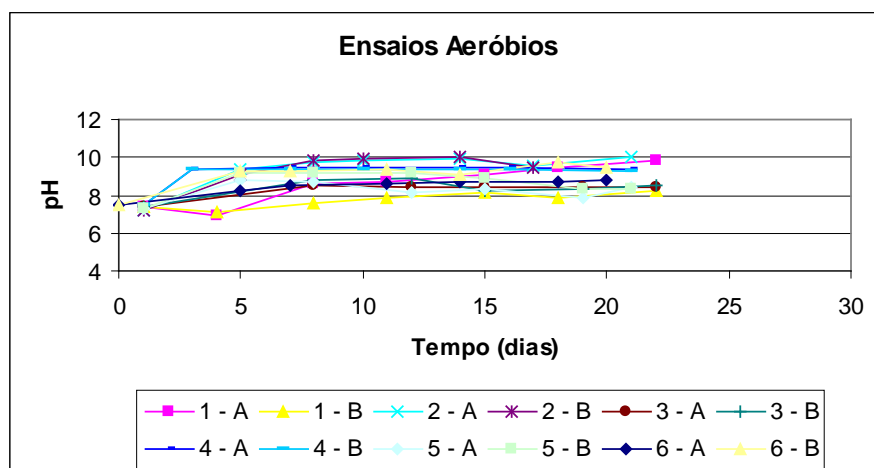
**Figura 2 e 3: Acompanhamento da DBO para o lixiviado empregado no Ensaio 1 e 5.**

Já para os Ensaios 3, 4 e 6 pode-se observar pouca biodegradação aos 5 dias de ensaio, sendo que aos 20 dias os valores aumentaram e ficaram próximos de estabilização. Isto pode indicar que os lixiviados utilizados nesses ensaios já estavam estabilizados, possuindo em sua maioria compostos lentamente biodegradáveis e recalcitrantes. Os gráficos destes ensaios podem ser observados nas Figuras 4, 5 e 6.

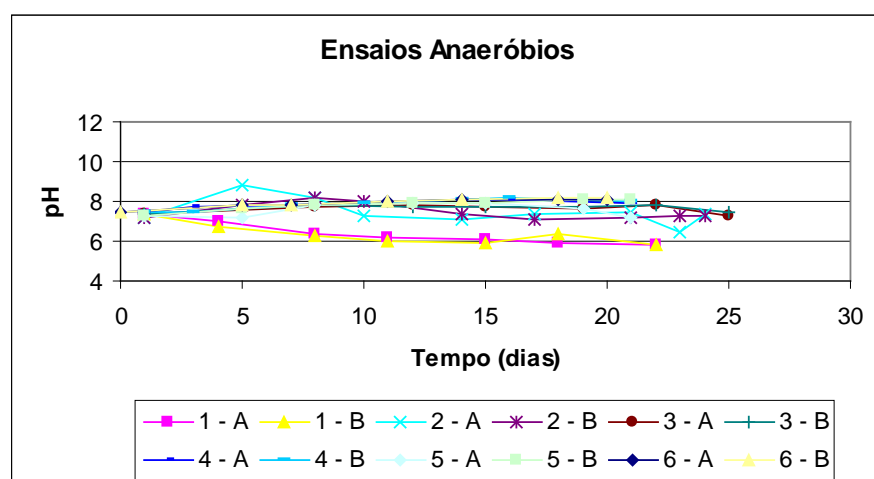


**Figura 4, 5 e 6: Acompanhamento da DBO para o lixiviado empregado no Ensaio 3, 4 e 6.**

O acompanhamento do pH para os ensaios aeróbios e anaeróbios pode ser visualizado nas Figuras 7 e 8.



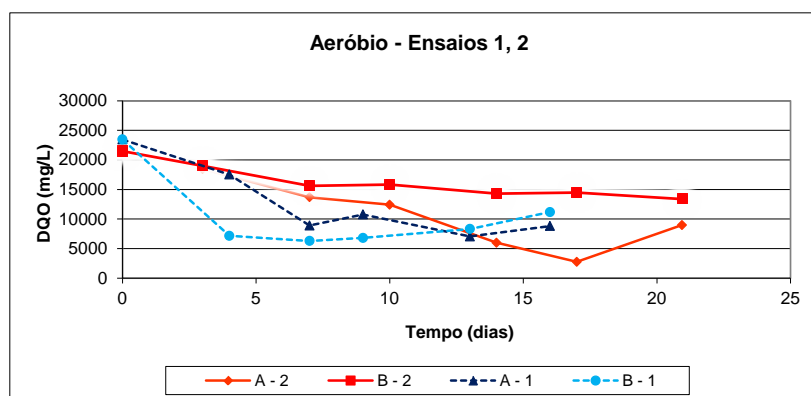
**Figura 7: Acompanhamento do pH nos ensaios aeróbios.**



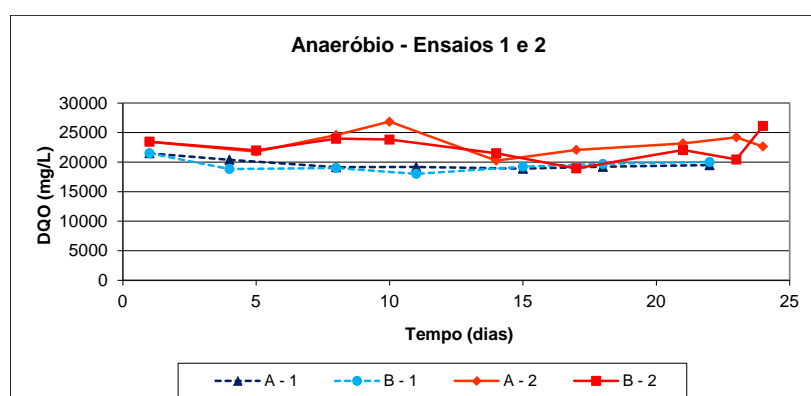
**Figura 8: Acompanhamento do pH nos ensaios anaeróbios.**

Conforme as Figuras 7 e 8, os valores de pH para os ensaios anaeróbios ficaram propícios para as bactérias anaeróbias se desenvolverem e degradarem a matéria orgânica (média de 7,5), fator este que não inibiu o ensaio. Já nos ensaios aeróbios, pode-se observar um aumento dos valores de pH, visto este iniciar entre 6,5 e 7,5 em todos os ensaios. Isto ocorreu provavelmente devido a formação de carbonatos e bicarbonatos pela aeração, o que aumenta a alcalinidade e consequentemente eleva o pH. Este fator não inibiu o ensaio, mas sim auxiliou na remoção de matéria orgânica.

Os resultados que permitem avaliar a remoção de DQO do Grupo 1 (alta concentração inicial de DQO e baixa relação DBO/DQO) nos ensaios aeróbios a anaeróbios são mostrados nas Figuras 9 e 10.



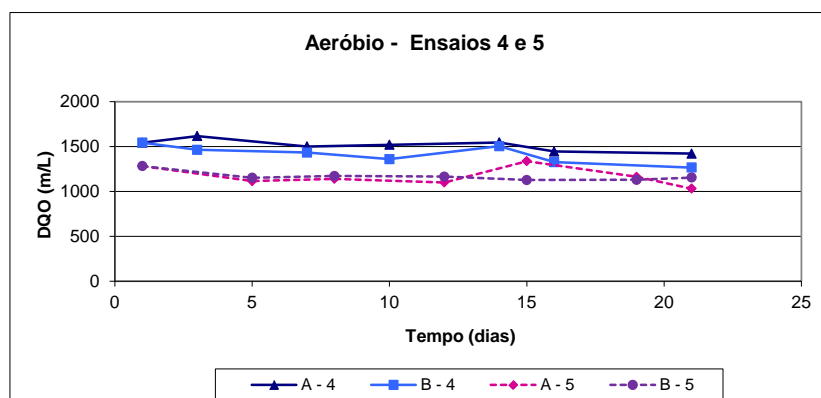
**Figura 9: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios aeróbios do Grupo 1.**



**Figura 10: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios anaeróbios do Grupo 1.**

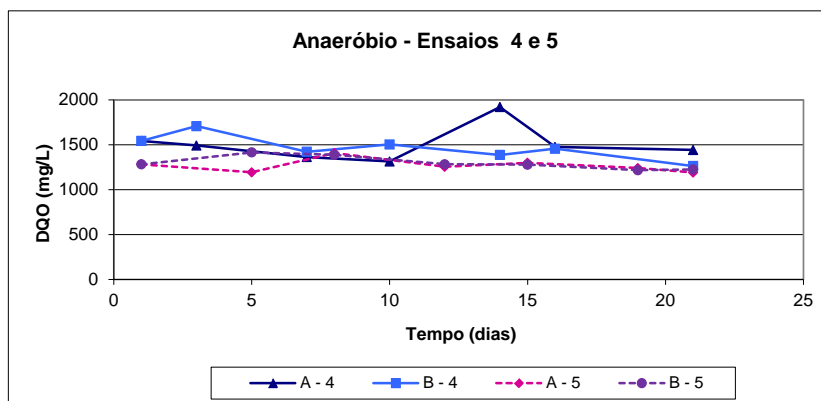
O valor mínimo de DQO ao final dos ensaios aeróbios do Grupo 1 foi de 8970 mg/L, o que representou 58% de remoção de DQO. Já nos ensaios anaeróbios, o valor mínimo de DQO foi de 20030 mg/L, o que representou 7% de remoção de DQO, valor pequeno se comparado ao ensaio aeróbio para este mesmo lixiviado. Esta remoção não aumentou mesmo o experimento durando mais que 20 dias.

Os resultados do Grupo 2 (baixa concentração inicial de DQO e média relação DBO/DQO) referente a remoção de DQO nos ensaios aeróbios e anaeróbios encontram-se nas Figuras 11 e 12.



**Figura 11: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios aeróbios do Grupo 2.**



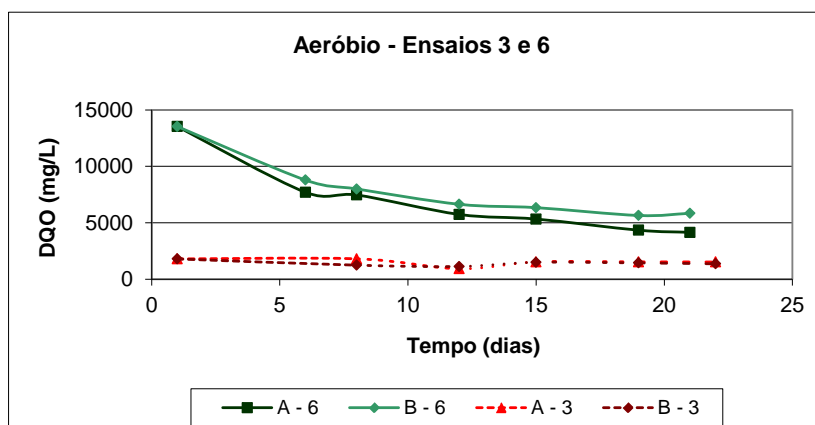


**Figura 11: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios anaeróbios do Grupo 2.**

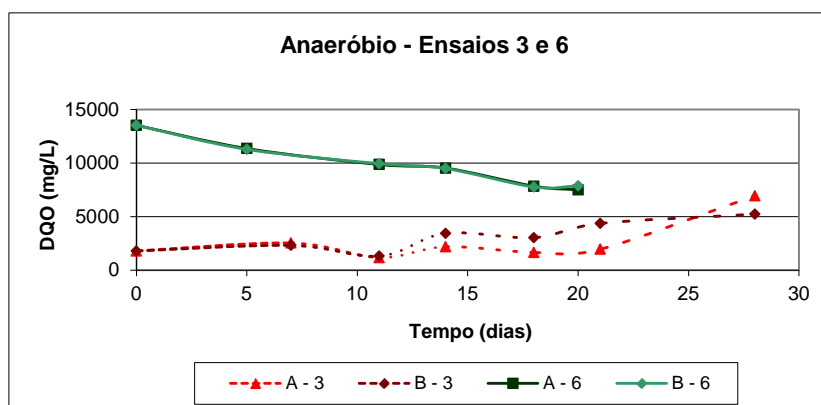
No Grupo 2, o mínimo valor de DQO alcançado para os ensaios aeróbios foi de 1030 mg/L, o que representou 20% de remoção de DQO. Esta remoção pode ser considerada boa pelo fato de o lixiviado começar com baixa concentração de matéria orgânica, sendo que aqueles compostos rapidamente biodegradáveis possivelmente já estavam degradados. Porém, o valor final de DQO ainda não se enquadrou na legislação ambiental vigente (330 mg/L segundo a resolução Conesma nº 128/2006), sendo necessário um pré ou pós-tratamento físico-químico para esta amostra, visto que a matéria orgânica já foi degradada biologicamente.

Ainda referente ao Grupo 2, o mínimo valor de DQO alcançado para os ensaios anaeróbios foi de 1225 mg/L, o que representou apenas 4% de remoção de DQO. Esta maior remoção no experimento anaeróbio foi 5 vezes menor do que aquela encontrada no experimento aeróbio. Estes resultados indicam uma má tratabilidade anaerobiamente, sendo indicado o uso de outro tipo de tratamento combinado (aeróbio e físico-químico), visto o lixiviado possuir características de compostos recalcitrantes.

Finalmente, os resultados de remoção de DQO para o Grupo 3 (alta relação DBO/DQO) podem ser visualizados nas Figuras 13 e 14.



**Figura 13: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios aeróbios do Grupo 3.**



**Figura 13: Resultados de DQO (mg/L) para os ensaios anaeróbios do Grupo 3.**

O Ensaio 3, o qual iniciou com menor concentração de matéria orgânica deste grupo (1800 mg/L DQO), atingiu remoção máxima de DQO de 42,8% para o ensaio aeróbio e 30,4% para o ensaio anaeróbio. O Ensaio 6, que iniciou com maior concentração de matéria orgânica deste grupo (13540 mg/L DQO) obteve remoção máxima de DQO de 63,1% para o ensaio aeróbio e de 43,2% para o ensaio anaeróbio.

O Grupo 3 obteve as maiores remoções de DQO se comparada aos outros grupos, tanto nos experimentos aeróbios como anaeróbios, e tanto para os ensaios que começaram com baixa concentração de DQO, como para os ensaios que começaram com alta concentração de DQO. Acredita-se que isto ocorreu devido aos ensaios deste grupo possuírem uma maior relação DBO/DQO do lixiviado, validando o estudo desta relação.

Os valores de remoção de DQO foram superiores no Grupo 1 comparados ao Grupo 2, provavelmente por terem uma maior concentração inicial de matéria orgânica rapidamente biodegradável no lixiviado.

Para todos os grupos, o experimento aeróbio obteve as maiores remoções em termos de DQO, chegando a 42,8% no ensaio aeróbio 3 com baixa concentração de DQO inicial, e a 69,3% no ensaio aeróbio 6 com alta concentração de DQO inicial. Santos et al. (2004) avaliaram a biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia de lixiviados de aterro controlado e obtiveram resultados semelhantes na eficiência aeróbia (65% de DQO), enquanto que para o anaeróbio a eficiência superior foi de 60%.

Torres (1999) também estudou em escala de laboratório a biodegradabilidade de lixiviado em processos aeróbios e anaeróbios, porém utilizando lodo proveniente de esgoto como inóculo em reatores de 1 litro. Variou-se o tempo de detenção hidráulica de 2 a 20 dias e obteve-se uma remoção de DQO de 93% e 90% para os processos aeróbios e anaeróbios, respectivamente. Essa remoção foi maior referente ao experimento desta pesquisa provavelmente por se utilizar lodo como inóculo, o que aumenta a matéria orgânica inicial e consequentemente aumenta a matéria orgânica rapidamente biodegradável.

Ferreira (2009) avaliou ensaios de biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia utilizando lixiviado e lodo de ETE como inóculo. A relação DBO/DQO dos lixiviados variaram de 0,05 a 0,07, o que demonstrou a alta condição de oxidação dos lixiviados, ou seja, as reações microbiológicas de degradação da DBO são limitadas. O lixiviado apresentou biodegradabilidade anaeróbia de aproximadamente 20% a 5 dias, 40% a 10 dias, 67% a 20 dias e 88% a 30 dias, ressaltando que o valor a 30 dias possa estar superestimado. A biodegradabilidade aeróbia foi de aproximadamente 21% a 5 dias, 50% a 20 dias e 62% a 30 dias. Este estudo mostrou melhores valores para os experimentos anaeróbios, contraditório ao deste trabalho. Porém, deve-se observar que foram utilizados lodo como inóculo, o que pode superestimar a biodegradabilidade de lixiviado.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ensaios de biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia subsidiam a determinação da concepção de sistemas de tratamento mais adequado para uma condição específica, podendo evitar problemas futuros com baixas eficiências dos processos escolhidos.





Para todos os ensaios o experimento aeróbio obteve maior eficiência de remoção de matéria orgânica, mesmo o experimento anaeróbio permanecendo por mais de 20 dias.

As maiores remoções de DQO foram encontradas nos ensaios que possuíam uma maior relação DBO/DQO do lixiviado. Isto indica que esta relação é válida para indicar o melhor tipo de tratamento para lixiviados.

Os valores finais da concentração de DQO deste trabalho não atingiram a legislação ambiental para descarte de efluente em corpos hídricos (330 mg/L segundo a resolução Consema nº 128/2006), necessitando de um pós ou pré-tratamento físico-químico, visto que os resultados sugerem que a composição do lixiviado contempla materiais recalcitrantes, ou seja, aqueles que não podem ser tratados biologicamente.

Este trabalho evidenciou as problemáticas de tratabilidade de diferentes tipos de lixiviado, principalmente aqueles de natureza recalcitrante. Além de demonstrar a importância do estudo prévio de ensaios de biodegradabilidade de lixiviado.

Indica-se a análise de Carbono Orgânico Total como forma de verificação da matéria orgânica presente, a fim de contribuir para a escolha de sistemas de tratamento eficientes de lixiviados de aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, M. C. S. Caracterização de Lixiviados Empregando Parâmetros Coletivos e Identificação de Compostos. Dissertação de Mestrado (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). UFMG, 2007.
2. APHA, 1995: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION (Ed.). Standard methods for examination of water and wastewater. 19. ed. Washington: APHA, 1995.
3. BAYRAM, S. C. Y.; CAMARGO, R.; MORITA, D. M.; QUEIROZ, L. M.; SOBRINHO, P. A. Remoção de nitrogênio e compostos recalcitrantes de lixiviado de aterro sanitário por nitrificação/desnitrificação biológica e pós-tratamento físico-químico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - CBESA, 26. Porto Alegre: Abes, 2011.
4. CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; FERNANDES, Fernando; FERREIRA, João Alberto; JUCÁ, José Fernando Thomé; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide; SANTOS NETO, Pedro Murrieta. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 91p.
5. CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSSEN, P.; BJERG, P. L.; JENSEN, B. D.; CHRISTENSEN, J. B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H-J.; HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Applied Geochemistry. 16. p. 659-718, 2001.
6. EHRIG, H. J.; ROBINSON, H. Landfilling: Leachate Treatment. In: CHRISTENSEN, Thomas H. Solid Waste Technology and Management. UK: 2010.
7. FERREIRA, Chyntia Fantoni Alves. Estudo de 1 Sistema Biológico e Físico para o Tratamento de Lixiviado Estabilizado de Aterro Sanitário. Tese de Doutorado (Engenharia Sanitária e Ambiental) UFMG, 2009.
8. GOMES, L. P.; LANGE, L. C.; JUCÁ, J. F. T.; FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. S. Processos e monitoramento da digestão anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS Jr., Armando Borges de (Orgs.). Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: Abes, 2006. p. 65-108.
9. LANGE, Lisete Celina; AMARAL, Miriam Cristina Santos do. Geração e Características do Lixiviado. In: Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.26-59.
10. RIO GRANDE DO SUL, CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. Resolução Nº 218 de 24 de novembro de 2006. 9 p.
11. SANTOS, A. F. M. S., KATO, M. T., FLORENCIO, L. Estudo comparativo entre a biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia de chorume através de aterro controlado. In: XI SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2004. Anais..., Rio Grande do Norte, ABES, 2004.



12. SOUTO, G. D. B. Lixiviados de Aterros Sanitários Brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste por ar (“stripping”). 2009. 371 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
13. SOUTO, G. D. B. (2005). Efeito da variação gradual da taxa de recirculação do lixiviado em reatores anaeróbios híbridos da digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
14. TORRES, P. Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 2, p.55-62, 1999.