



## TRATAMENTO BIOLÓGICO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO – MBBR/MBP

**HELVÉCIO CARVALHO DE SENA<sup>(1)</sup>**

Doutorado em Engenharia Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Especialista em tratamento de esgotos domésticos e industriais, pesquisador quanto a utilização de novas técnicas de tratamento com sistema MBBR (indústria de papel e papelão, indústria herbicidas, tratamento de chorume). Especialista em controle de odores e em modelagem matemática.

**FELIPPE SAAD**

Diretor Administrativo da empresa Monera Eco Solutions, Médico especialista em Neurocirurgia formado pela Faculdade de Medicina da USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Cassiano Ricardo, 601 conjunto 161, Edifício The One Office Tower – Pq Residencial Aquarius – São José dos Campos - SP - CEP: 12246-870 - Brasil - Tel: +55 (12) 3600-8082 - e-mail: [sena@monera.eco.br](mailto:sena@monera.eco.br)

### RESUMO

A geração de lixiviados continua sendo uma consequência inevitável da prática de disposição de resíduos em aterros sanitários.

O lixiviado de aterros sanitários contém menos carbono biodegradável devido a própria biodegradação dentro do próprio aterro, formando o gás metano e é tipicamente caracterizado pelo alto teor de amônio ( $\text{NH}_4$ ), baixa biodegradabilidade (baixa relação DBO/DQO) e alta fração de moléculas orgânicas refratárias e grandes, como húmicas e ácidos fúlvicos.

O nitrogênio amoniacial ( $\text{N-NH}_4$ ) é identificado como um dos compostos mais tóxicos para os organismos vivos (KURNIAWAN, LO, & CHAN , 2006).

O potencial poluidor do lixiviado está ligado principalmente aos altos valores de carga orgânica que apresenta, prejudicando a fauna e a flora nesses meios. Pode ainda haver a incorporação de substâncias dissolvidas ou em suspensão cujas características tóxicas apresentem risco de contaminação para os ecossistemas locais e à saúde humana.

Dentre estas substâncias pode-se citar aquelas consideradas como potenciais ameaças para a saúde humana, tais como o arsênico, as bifenilas, o di(2-etylhexil)ftalato, o diclorometano, o etilbenzeno, os HPA, o nonilfenol, dentre outras (Health Protection Agency apud (CAMILLE , JOSEINO, FERREIRA, & ARIAS, 2013).

Geralmente, os lixiviados de aterros novos (chamados aterros jovens) contêm concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>) com fração biodegradável e são tratados com mais facilidade em comparação com o antigo.

O tratamento biológico combinado do lixiviado é frequentemente a alternativa mais econômica em comparação com outras opções de tratamento. No entanto, os efluentes de lixiviados são conhecidos por conterem substâncias orgânicas recalcitrantes e/ou não biodegradáveis e os processos biológicos não podem ser eficazes nesses casos.

Os compostos de nitrogênio, juntamente com os do fósforo, são nutrientes que, quando dispostos em receptores de corpos d'água, em altas concentrações, podem estimular o crescimento de algas e esgotar o oxigênio dissolvido, resultando na eutrofização do corpo d'água, além de apresentar efeitos tóxicos para os organismos aquáticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento do Chorume, Lixiviado, Pré-Tratamento, MBBR.

## 1. COMPOSIÇÃO DO LIXIVIADO

A composição do lixiviado (chorume) dependerá de vários fatores, incluindo a idade do aterro, a composição dos resíduos recebidos e o índice de precipitação.

As características dos lixiviados gerados em aterros sanitários variam devido à composição dos resíduos urbanos, as condições sazonais, a localização, a idade e a forma de operação do aterro. Entretanto, de modo geral os lixiviados têm como principais componentes, matéria orgânica dissolvida, compostos inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos (KJELDSEN, et al., 2002 apud (DEL GROSSI OLIVEIRA, BLAICH, LOPES, SANTANA, & PRATES, 2013).

Lixiviados de aterros novos, na fase acidogênica de decomposição dos resíduos, geralmente, apresentam elevada concentração de matéria orgânica dissolvida e de nitrogênio amoniacial. Na fase metanogênica o conteúdo de matéria orgânica diminui significativamente, porém a concentração de nitrogênio não segue a mesma tendência, por isso este constitui-se como um dos principais poluentes no lixiviado a longo prazo (KJELDSEN, et al., 2002 apud (DEL GROSSI OLIVEIRA, BLAICH, LOPES, SANTANA, & PRATES, 2013).

Alguns dados que demonstram a grande variabilidade desse efluente, por exemplo, na cidade de Bauru / SP / Brasil (CONTRERA, 2008), o lixiviado apresentou as seguintes concentrações:

- DQO entre 60.000 e 96.000 mg / L
- Nitrogênio da amônia entre 750 e 1.880 mg / L
- Nitrogênio nitrato entre 550 e 1.750 mg / L

Enquanto em 03 aterros monitorados na China (ZHANG, et al., 2013), as concentrações são completamente diversas:

- DQO entre 1.105 e 1.906 mg / L
- Nitrogênio da amônia entre 467,5 e 676,5 mg / L
- Nitrogênio nitrato entre 9,4 e 21,2 mg / L

No presente estudo, o lixiviado apresentou as seguintes concentrações:

- DQO entre 5.190 e 7.527 mg / L
- Nitrogênio da amônia entre 1.070 e 2.206 mg / L
- Para o nitrogênio nitrato, apenas uma amostra com resultado de 92,5 mg / L

A composição do chorume depende de vários fatores, incluindo as condições antropogênicas, visto que diversos autores citados por (CASAGRANDE, 2006) demonstram uma composição extremamente variável de matéria orgânica indo desde 11% (Osaka, Japão) à 74% (São Paulo, Brasil).

A característica do mesmo também é influenciada pela idade do aterro ou das células de armazenamento, bem como ao ciclo hidrológico.

PACHECO (2004) apud CASAGRANDE (2006) demonstrou a variação da composição do chorume, conforme demonstrado através da Tabela 1.

**Tabela 1 - Composição do chorume - Adaptado de PACHECO (2004) apud CASAGRANDE (2006)**

Elemento	Unidade	Concentração (faixa)
pH	upH	4,5 à 9
ST	mg/L	20.000 à 60.000
COT	mg/L	30 à 29.000
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	20 à 57.000
DQO	mg/L	140 à 152.000
NH <sub>4</sub>	mg/L	50 à 2.200

Para ANDREOTOLLA & CANAS (1997) apud BOCCHIGLIERI (2010) a composição do chorume difere e está demonstrada através da Tabela 2.

**Tabela 2 - Composição do chorume - Adaptado de ANDREOTOLLA & CANAS (1997) apud BOCCHIGLIERI (2010)**

Elemento	Unidade	Concentração (faixa)
pH	upH	5,3 à 8,5
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	100 à 90.000
DQO	mg/L	150 à 100.000
NH <sub>4</sub>	mg/L	1 à 1.500

As variações apresentadas confirmam o que amplamente é difundido, visto a influência sazonal e antropogênica a qual está sujeito os aterros sanitários, além das condições de operação do mesmo tal como exemplo a condição da compactação de cada célula.

Um componente importante a ser avaliado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário é a quantidade de matéria orgânica inerte, que é diretamente relacionada com a idade do aterro sanitário, o que está demonstrado através da Tabela 3

**Tabela 3 - Fração de DQO Refratária em lixiviado de aterro sanitário**

Aterro	Fração DQO Refratária	Autor
Dois Arcos / RJ – aterro com 04 – 05 anos	25,9%	NASCENTES, 2013
Belo Horizonte / MG – aterro com 9 anos	45,0%	AMARAL et. al., 2006 apud NASCENTES, 2013
Belo Horizonte / MG – sem informação do tempo de operação	44,0%	MORAVIA, 2011 apud NASCENTES, 2013
Itajaí / SC – aterro com 07 anos	41,0%	CASTILHOS JUNIOR et al., 2013 apud NASCENTES, 2013



## 2. TRATAMENTO CONJUNTO LIXIVIADO E ESGOTO DOMÉSTICO

O tratamento do lixiviado pode se tornar um processo tecnicamente complexo e caro. Portanto, a alternativa de tratamento do lixiviado em conjunto com o esgoto doméstico deve ser avaliada.

Mas, para esta alternativa não causar problemas à Estação de Tratamento de Esgotos, é necessário que haja uma avaliação técnica cuidadosa.

No Rio de Janeiro / Brasil, por exemplo, recomenda-se que as Estações de Tratamento de Esgotos recebam não mais que 1% de seu volume em lixiviado.

Coincidentemente ao número estabelecido para o estado do Rio de Janeiro, a Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri / Sabesp /SP recebe percolado de aterro sanitário na ordem de 0,9% do volume de esgoto doméstico (BOCCHIGLIERI, 2010).

No caso do Rio de Janeiro, a maior preocupação do órgão de inspeção (INEA) é a conformidade com o padrão de nitrogênio amoniacal nos efluentes tratados nas ETEs.

As técnicas aplicadas no tratamento do chorume são realizadas em sistemas biológicos sejam eles anaeróbios ou aeróbios, ou a combinação dos mesmos (JUCÁ, 2003 apud CASAGRANDE, 2006).

O tratamento combinado é considerado benéfico ao processo de tratamento, desde que condições operacionais sejam garantidas (NASCENTES, NASCIMENTO, BRASIL, CAMPOS , & FERREIRA , 2016).

A utilização de processos menos robustos em termos de recebimento de carga, tal como filtro anaeróbio demonstra a possibilidade de tratamento do chorume considerando um tempo de detenção hidráulico mais elevado, demonstrado através do pesquisador (CASAGRANDE, 2006). Resalta-se que a pesquisa realizada trabalhou com o chorume bruto.

Há processos como eletrocoagulação que possibilitam remoção de até 60% na concentração da DQO (PORTO, YASSUE, THEODORO, MODENES, & BRAGIÃO, 2014).

Em sistema biológico operando por batelada (SBR) foi possível remoção de 80% da DQO (YABROUDIA, MORITA, & PEDRO, 2013). No experimento realizado foi possível demonstrar que mesmo processos mais sensíveis a variação de carga como é a nitrificação/desnitrificação foi possível realizar o tratamento com baixa relação entre Carbono e Nitrogênio.

É concenso entre os diversos pesquisadores nacionais e internacionais de que:

- É possível o tratamento do chorume, mesmo diante das características de variabilidade,
- É necessário algum processo de pré tratamento visando aumentar a eficiência global.

O principal objetivo desta pesquisa foi a redução significativa de nitrogênio amoniacal no lixiviado bruto, de modo que o sistema biológico das Estações de tratamento de esgotos não recebesse alta carga deste composto.

Os dados apresentados através da Tabela 3 são particularmente fundamentais para a presente pesquisa, visto que houve o recebimento de lixiviado de diferentes e diversos<sup>1</sup> aterros sanitários e mesmo de diferentes células de aterramento de um mesmo local.

<sup>1</sup> Durante a pesquisa não houve informação da origem dos lixiviados

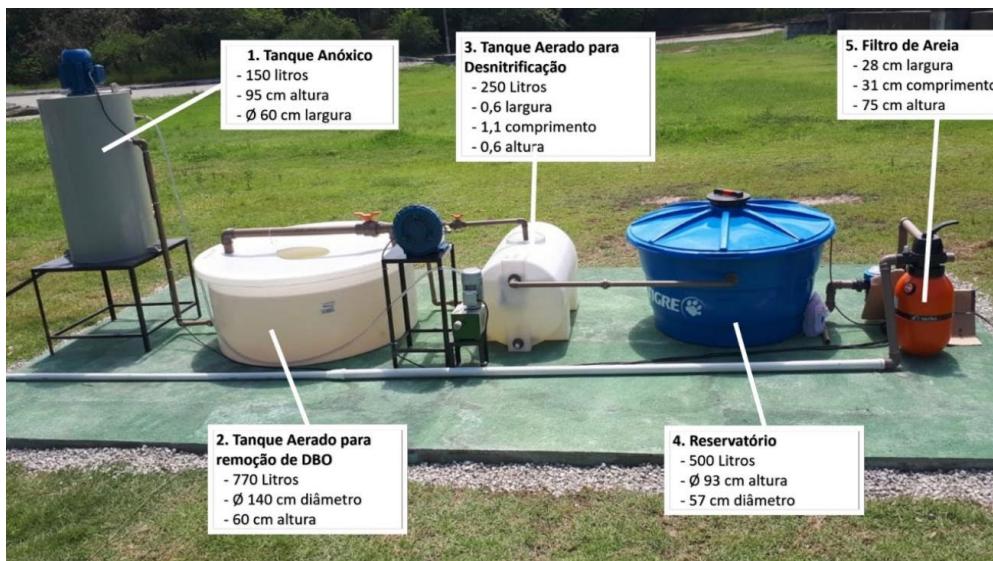


### 3. MATERIAL UTILIZADO NA PESQUISA – SISTEMA PILOTO

O sistema piloto foi construído com 3 reatores.

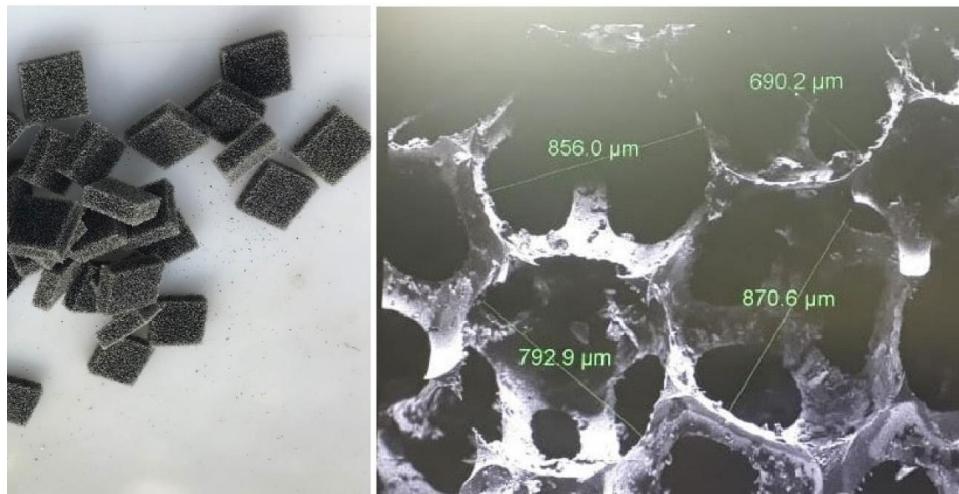
O primeiro é um reator anóxico com capacidade para 150 litros, o segundo é para remoção de carga orgânica com capacidade para 250 litros e o terceiro é para remoção de nitrogênio amoniacial com capacidade para 250 litros.

Este sistema está demonstrado através da figura 1.



**Figura 1 - Reator Piloto - tratamento de Chorume (fonte: autor)**

Nos reatores mencionados, foram introduzidas mídias de MBBR com elevada área de crescimento aderido: 20.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, figura 2.



**Figura 2 - mídia de Poliuretano com composto de carbono (fonte: autor)**

O objetivo de adicionar essa mídia é favorecer o crescimento de células microbianas em superfícies sólidas (mídia), formando biofilmes.

Dessa forma, as células apresentam desempenho muito mais alto e estabilidade 50 vezes maior que as células suspensas livres.

O lixiviado dos aterros sanitários eram armazenados em um caixa com capacidade de 5.000 litros e encaminhado por gravidade até o reator piloto.



#### 4. RESULTADOS/RECOMENDAÇÕES

O sistema piloto demonstrado através da figura 1 foi inoculado com lodo ativado da ETE Alegria/CEDAE/RJ, o lodo foi deixado no sistema aerando por 03 dias consecutivos e sem adição de chorume. Com o objetivo de formar um biofilme com enzimas parcialmente desenvolvidas para a biodegradação do lixiviado.

Após o período de inoculação o lodo foi retirado dos reatores e foi iniciado a dosagem de Lixiviado de diferentes aterros sanitários.

A dosagem de lixiviado iniciou em janeiro de 2019, com uma taxa de aplicação de carbono no tanque de nitrificação de:

- 1,22 g DBO<sub>5,20</sub>/m<sup>2</sup>/d

A taxa de carbono no tanque de remoção de nitrogênio causava a competição entre as bactérias heterotróficas e autotróficas, comprometendo a eficiência do processo, que apresentava remoção de 25% de nitrogênio amoniacal.

Além da questão da taxa de aplicação, observou-se que o lixiviado estava chegando com temperaturas acima de 45,0°C, a temperatura ambiente atingiu pico de 37,5°C no mês de fevereiro/2019.

Considerando que o transporte de lixiviado é feito em carretas com tancagem em aço e que devido ao trânsito o lixiviado era exposto a elevadas temperaturas durante várias horas, ocasionando a alta temperatura citada.

A questão da temperatura é de extrema importância pois afeta o equilíbrio da amônia livre que é calculada conforme equação 1 (ANTHONISEN et. al., 1976 apud YUSOF, HASSAN, PHANG, TABATABAEI, & OTHMAN, 2010):

**Equação 1:**

$$FA \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{17}{14} \times \frac{TAN \left( \frac{mg}{L} \right) \times 10^{pH}}{e^{\frac{6344}{(273+2C)}} + 10^{pH}}$$

A concentração de FA tóxico para as bactérias nitrossomonas é de no máximo 5 mg/L e para as nitrobacter é de no máximo 150 mg/L, podendo ocorrer adaptações a depender das condições operacionais impostas.

A ETE piloto instalada na ETE Alegria/CEDAE operando com temperatura de 25°C, pH de 8,5 e concentração de nitrogênio amoniacal de 1.200 mg/L, apresenta uma concentração de FA de 222 mg/L.

Com o aumento da temperatura para 40°C esta concentração sobe para 485 mg/L.

Assim associando-se temperatura e pH elevados, há inibição do processo de nitrificação (YUSOF, HASSAN, PHANG, TABATABAEI, & OTHMAN, 2010).

A questão do aumento da temperatura foi a causa do baixo desempenho do processo até o mês de fevereiro/2019, remoção de nitrogênio amoniacal de 25%. Contudo, salienta-se que mesmo nas condições adversas é interessante a capacidade dos microrganismos desenvolvidos na mídia de poliuretano.

Ambos os problemas de taxa de aplicação de carbono e temperatura foram equacionados.

Com taxa de aplicação de 0,62 g DBO<sub>5,20</sub>/m<sup>2</sup>/d, houve uma remoção de 85% de nitrogênio amoniacal, considerando concentração afluentes de 1.154 mg/L e no efluente de 168 mg/L.

DEL GROSSI OLIVEIRA et.al. (2013), demonstrou que mesmo operando com lixiviado com baixa quantidade de matéria orgânica biodegradável (DBO<sub>5,20</sub>/DQO < 0,1) ao adicionar fonte externa de carbono (etanol) houve incremento na quantidade de bactérias nitrificantes (de  $3,5 \times 10^8$  para  $2,4 \times 10^{10}$  NMP/100ml), este trabalho nos direciona a hipótese que o resultado obtido na presente pesquisa poderia ter atingido resultados superiores, caso houvesse a adição de fonte de carbono externo.

A remoção de DQO no reator piloto operado na ETE Alegria/CEDAE/RJ atingiu remoção de 56%, o que é bastante significativo, considerando que o tratamento de chorume em um aterro sanitário da

Pennsylvania/USA operando em sistema de Batelada em tempo de detenção hidráulica de 7 dias apresentou remoção de 33% (ZHAO, et.al, 2012)

O objetivo da pesquisa foi alcançado parcialmente, uma vez que existem variações na concentração de nitrogênio amoniacal no efluente tratado.

Existem fatores que interferem no processo de tratamento, incluindo a alta temperatura do Rio de Janeiro, durante a pesquisa, registramos a temperatura do lixiviado de 45°C e, nessas condições, a remoção de nitrogênio amônia e DQO foi reduzida.

### **Recomendações**

- Prever controle de temperatura em sistema piloto instalado em campo,
- Prever a adição de fonte de carbono para auxiliar na nitrificação e desnitrificação considerando que geralmente há concentração elevada de nitrogênio nitrato no efluente de lixiviados, além da quantidade adicional a ser gerado no processo de tratamento



## Bibliografia

- BOCCHIGLIERI, M. M. (2010). O LIXIVIADO DOS ATERROS SANITÁRIOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ESGOTOS. SÃO PAULO, SP, BRASIL: TESE DE DOUTORADO : UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO : FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA.
- CAMILLE , F. M., JOSEINO, C. M., FERREIRA, J. A., & ARIAS, A. L. (2013). AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO EFLUENTE DO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ESGOTO DOMÉSTICO SOBRE A BIOTA AQUÁTICA. BRASIL: CIÊNCIA E SAÚDE COLETIVA, 18(11):3235-3243. Fonte: <https://www.scielosp.org/article/csc/2013.v18n11/3235-3243/>
- CASAGRANDE, E. (2006). AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ROCHAS DE ARENITO COMO MEIO FILTRANTE EM FILTROS ANAERÓBIOS PARA TRATAMENTO DE CHORUME. CRICIÚMA, SC: DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE.
- CELESTINO, C., & SARON, A. (2012). ANÁLISE DA TRATABILIDADE, BIODEGRADABILIDADE E DO POTENCIAL TÓXICO DE LÍQUIDO PERCOLADO PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO URBANO. Revista de Saúde, Meio Ambiente. Volume 7, Número 1, 2012.
- CONTRERA, R. C. (2008). TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS EM SISTEMAS DE REATORES ANAERÓBIO E AERÓBIO OPERADOS EM BATELADA SEQUENCIAL. SÃO CARLOS, SP, BRASIL: TESE DE DOUTORADO : ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP, 731 p.
- DEL GROSSI OLIVEIRA, A. C., BLAICH, C. I., LOPES, D. D., SANTANA, S. V., & PRATES, K. (MAIO/AGOSTO de 2013). NMP DE BACTÉRIAS NITRIFICANTES E DESNITRIFICANTES E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM LODO ATIVADO PARA REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO. SÃO PAULO, SP, BRASIL: REVISTA DAE Nº 192. Fonte: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.107>
- KURNIAWAN, T. A., LO, W., & CHAN , G. S. (2006). RADICALS-CATALYZED OXIDATION REACTIONS FOR DEGRADATION OF RECALCITRANT COMPOUNDS. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL 125 (1), 35-37.
- NASCENTES, A. L. (2013). TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: TESE DE DOUTORADO : UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ.
- NASCENTES, A. L., NASCIMENTO, M. P., BRASIL, F. C., CAMPOS , J. C., & FERREIRA , J. A. (ABR de 2016). TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO - ASPECTOS OPERACIONAIS E MICROBIOLÓGICOS. Revista Teccen. 2015 Abr; 06 (1): 01-32.
- PORTO, T. M., YASSUE, P. H., THEODORO, P. S., MODENES, A. N., & BRAGIÃO, M. E. (DEZ de 2014). PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO NO TRATAMENTO DE CHORUME DE ATERRO

SANITÁRIO. RIO DE JANEIRO, RJ: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica.

YABROUDIA,, S. C., MORITA, D. M., & PEDRO, A. S. (JAN de 2013). LANDFILL LEACHATE TREATMENT OVER NITRIFICATION/DENITRIFICATION IN AN ACTIVATED SLUDGE SEQUENCING BATCH REACTOR. APCBEE Procedia 5 (2013) 163 – 168.

YUSOF, N., HASSAN, M. A., PHANG, L. Y., TABATABAEI, M., & OTHMAN, M. R. (JAN de 2010). NITRIFICATION OF AMMONIUM-RICH SANITARY LANDFILL LEACHATE. WASTE MANAGEMENT : 30 : PG 100 - 109.

ZHANG, Q.-Q., TIAN, B.-H., ZHANG, X., GHULAM, A., FANG , C.-R., & HE, R. (AUGUST de 2013). INVESTIGATION ON CHARACTERISTICS OF LEACHATE AND CONCENTRATED LEACHATE IN THREE LANDFILL LEACHATE TREATMENT PLANTS. WASTE MANAGEMENTE 33, 2277–2286.

ZHAO, R., NOVAK, J. T., & GOLDSMITH, C. D. (2012). EVALUATION OF ON-SITE BIOLOGICAL TREATMENT FOR LANDFILL LEACHATES AND ITS IMPACT: A SIZE DISTRIBUTION STUDY. WATER RESEARCH 46: 3837 - 3848 . Fonte: journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)