

### **III-361 - PROCESSO ELETROLÍTICO NO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO**

**Denise Pontes Duarte<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestranda em Engenharia de Edificações e Ambiental pela UFMT.

**Aldecy de Almeida Santos<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Física e Meio Ambiente pela UFMT. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UFPE). Professor da Universidade Federal de Mato Grosso.

**Fabiana de Almeida Barros<sup>(3)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestranda em Recursos Hídricos pela UFMT.

**David Maycon Schmitt Rosa<sup>(4)</sup>**

Graduando do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

**Laerte Pinheiro<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP/SC). Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP/SC). Atualmente é professor Associado IV da Universidade Federal de Mato Grosso.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Yaiti Ono, 205 Setor Norte - Colider - MT - CEP: 78500-000 - Brasil - Tel: (65) 9911-3242 – email: [deniseduarte621@hotmail.com](mailto:deniseduarte621@hotmail.com)

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do processo de tratamento eletrolítico utilizando lixiviado de aterro sanitário combinado com efluente de esgoto doméstico em escala experimental. A pesquisa experimental, em escala de bancada teve como variáveis estudadas durante os ensaios eletrolíticos: pH, temperatura, turbidez, cor e DQO. O lixiviado e o esgoto empregados neste estudo são provenientes do Aterro Sanitário e da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE de Colíder. Os resultados obtidos com o tempo de eletrolise de 10 min. nas proporções de 0,5%, 2,5% e 5,0% de lixiviado apresentaram redução de turbidez 81%, 79% e 41%, respectivamente. Também os resultados parciais das proporções de 0,5%, 2,5% e 5,0% de lixiviado de cor, pH e DQO obtidos através das análises dos parâmetros indicam que o processo eletrolítico, nas condições operacionais estudadas, se apresenta como uma alternativa para remoção de poluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de efluentes, Lixiviado, Esgoto Sanitário.

#### **INTRODUÇÃO**

Os dados revelam que o Brasil encontra-se em uma trajetória ascendente na geração de resíduos sólidos urbanos. Segundo Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o volume de lixo produzido no país em 2010 aumentou, apesar dos instrumentos e estratégias de coleta e destinação adequada não terem evoluído (ABRELPE, 2011). A disposição inadequada destes pode contaminar o solo, as fontes subterrâneas de água e liberar gases no meio ambiente de forma não controlada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos proíbe a disposição dos resíduos em lixões, objetivando a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental. (BRASIL, 2010). Como alternativa para a disposição final encontra-se os aterros sanitários, que apesar de serem considerados uma solução segura geram subprodutos que causam impactos ambientais significativos, tais como o lixiviado e o biogás, os quais necessitam ser coletados e tratados de forma adequada, para que não sejam dispostos no meio ambiente trazendo prejuízos ao solo, ar, águas subterrâneas e superficiais.

O lixiviado é o produto da lixiviação e da biodegradação dos resíduos urbanos nas condições de disposição, ou seja, é o extrato líquido dos resíduos sólidos da sociedade. A geração de lixiviado é o principal inconveniente

da disposição dos resíduos no solo, mesmo que em aterros sanitários. O lixiviado pode contaminar as águas superficiais como também as águas subterrâneas, além de degradar o solo e a vegetação. As condições ambientais específicas de cada aterro e a composição variada dos lixiviados dificultam a definição de processos de tratamento de aplicabilidade geral (GIORDANO *et. al.*, 2011).

Um dos fatores que torna complexa a tratabilidade do lixiviado é sua baixa biodegradabilidade, que dificulta a eficiência do tratamento convencional biológico e o torna mais complexo com modificações significativas durante as diversas fases de operação do aterro sanitário (SANTOS, 2009). Uma alternativa é a aplicação de um pré-tratamento visando o aumento da biodegradabilidade do lixiviado e possibilitando um posterior tratamento biológico: o uso do processo eletrolítico (TOBA, 2012).

Somado a isto, existe hoje grande preocupação em relação ao tratamento e ao destino final dos esgotos, pelas consequências que causam ao meio ambiente e, em especial, a qualidade da água. Por isso, os estudos, critérios, projetos, relativos ao tratamento e à disposição final dos esgotos deverão ser precedidos de cuidados especiais que garantam o afastamento adequado dos esgotos e, também, a manutenção e melhoria dos usos e da qualidade dos corpos receptores (JORDÃO & PESSÓA, 2014).

O esgoto sanitário é composto, de forma geral, por 99,9% de água e por 0,1% de sólidos. Dentro desta porcentagem de sólidos, aproximadamente 70% constitui-se de matéria orgânica, ou seja, matéria biodegradável (MENDONÇA, 1990 *apud* COSTA, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar a eficiência do processo de tratamento eletrolítico utilizando lixiviado de aterro sanitário combinado com efluente de esgoto doméstico em escala experimental. Segundo Ferreira *et al.* (2009), essa técnica é largamente utilizada na Europa, Japão e Estados Unidos. No Brasil ainda demanda de critérios a serem definidos para cada realidade e os estudos de tratamento combinado não apresentam um limite fixo de diluição (MANNARINO *et al.*; 2011).

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa experimental, em escala de bancada, foi realizada no Laboratório de Análise físico-química do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, tendo como variáveis estudadas durante os ensaios eletrolíticos: pH, turbidez, cor e DQO.

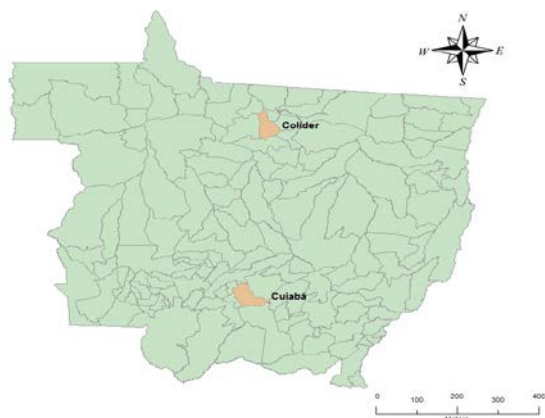
O lixiviado e o esgoto empregados neste estudo são provenientes do Aterro Sanitário e da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE de Colíder.

## ÁREA DE ESTUDO

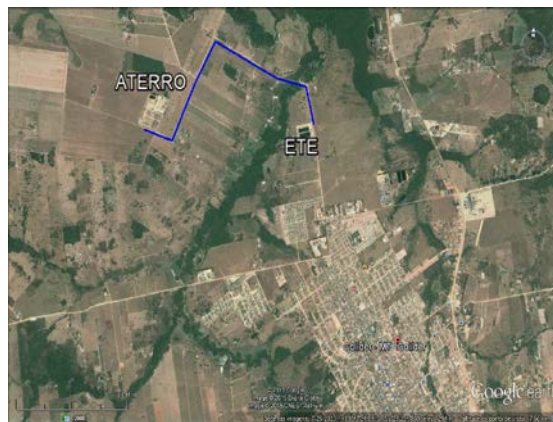
O município Colíder está situado no médio norte Mato-grossense, distante 650 km da Capital do Estado apresenta uma população total de 30.766 habitantes, sendo que destes 25.014 moram na sede. (Figura 1). O aterro sanitário e a Estação de Tratamento de Esgotos estão localizados na comunidade rural Santa Luzia do Pinheirinho distantes cerca de 4 Km entre si, conforme Figura 2. O aterro sanitário é de gerenciamento municipal e a ETE por empresa privada.

O aterro sanitário é considerado de pequeno porte e está em funcionamento desde 2008, recebendo diariamente uma média de 18,3 toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo que em torno de 4 ton/dia são encaminhados para a usina de triagem pela coleta seletiva.

**Figura 1 - Localização do município no Estado e em relação à capital**

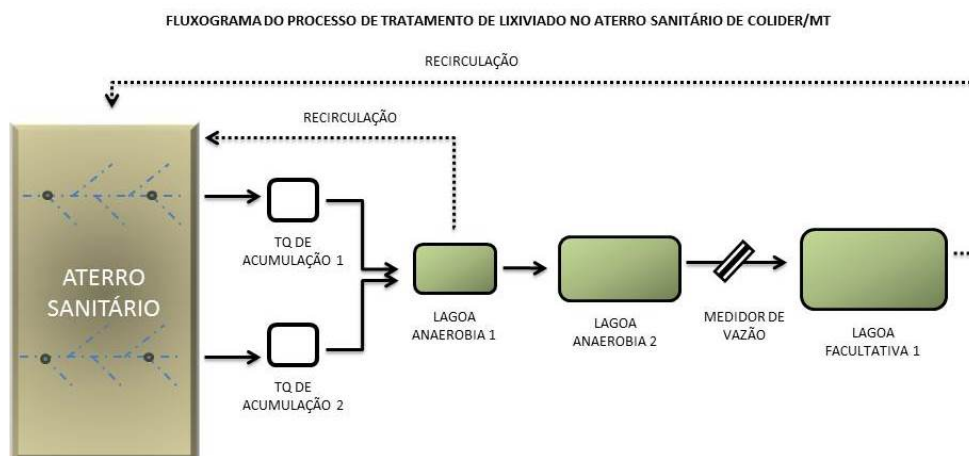


**Figura 2 - Localização do aterro sanitário e ETE**



O sistema para tratamento de percolato adotado consiste em no encaminhamento do lixiviado através de dreno do fundo para o tanque de acumulação e posterior bombeamento para a lagoa anaeróbia 1. Desta, segue para a lagoa anaeróbia 2 e lagoa facultativa 1. Após o lixiviado ter percorrido esse caminhamento, é feito o recalque do mesmo, através de bomba estacionária e mangueiras de irrigação de 3", para o aterro sanitário, conforme Figura 3. As lagoas foram dimensionadas com base na estimativa de geração de lixiviado levando em conta a precipitação média anual de 2100mm. Nesse processo de recirculação, as lagoas realizam o tratamento do lixiviado no período seco e armazenam o lixiviado produzido no período das chuvas, uma vez que somente no período seco é feito a recirculação do mesmo em cavas abertas na parte superior do maciço de lixo.

**Figura 3 – Fluxograma do processo de tratamento de lixiviado no aterro sanitário de Colider/MT**



O esgoto utilizado é proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos de Colíder - ETE, implantada em 2008, a qual trata 100% dos esgotos coletados através de lagoas de estabilização. O índice de coleta de esgoto é de 21%.

## PONTO DE COLETA

As coletas ocorreram no mês de agosto de 2014, utilizando coletores de 5 e 20 litros. No aterro sanitário a coleta foi realizada diretamente no tanque de acumulação nº 1, pois o mesmo recebe o lixiviado mais antigo e oriundo do processo de recirculação. Na ETE a coleta do esgoto bruto foi realizada na entrada do tratamento preliminar antes da passagem pela peneira.

## AMOSTRAGEM

As amostras utilizadas para caracterização do efluente e para os ensaios eletrolíticos foram coletadas em três frascos de amostras com volume de 1 Litro, as coletas foram realizadas em dias diferentes e horários aleatórios.

No reator de bancada os eletrodos ficaram dispostos em um ângulo de 90° com a horizontal e a uma distância de 1 cm entre si, foram ligados a uma fonte de corrente contínua estabilizada de tensão e intensidade de corrente reguláveis. A capacidade máxima volumétrica do Becker era de 250 ml, entretanto o volume de efluente a ser tratado foi definido como 200 ml.

Os ensaios foram realizados em triplicata para cada tempo de eletrolise, obtendo valor médio das variáveis analisadas.

## DILUIÇÃO

As diluições de esgoto bruto e lixiviado, apresentadas na Figura 4, foram:

99,5% de esgoto e 0,5% de lixiviado;

97,5% de esgoto e 2,5% de lixiviado;

95,0% de esgoto e 5,0% de lixiviado.

**Figura 4 – Aspectos da mistura nas diluições de 0,5%, 2,5% e 5,0% de lixiviado**



## OPERAÇÃO DO REATOR

A coleta do efluente a ser tratado e o enchimento do reator foram realizados manualmente, onde o Becker de vidro que recebeu o efluente foi adaptado à célula eletrolítica com o volume 300 mL com volume útil de 200 mL.

## TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA

Os efluentes foram tratados no tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 minutos utilizando eletrodo de alumínio (Al).



### CORRENTE APLICADA

Foi aplicada a variação de corrente, de 0,25 Amperes. Esta variação é importante em termos de eficiência, por influenciar na liberação de íons e gases na solução, bem como no desgaste dos eletrodos e no consumo de energia elétrica.

A fonte de alimentação era ligada às placas por meio de um circuito elétrico e as amostras eram retiradas do reator através de uma pipeta (Figuras 5 e 6).

Figura 5 – Configuração do aparelho



Figura 6 – Aspectos da mistura após eletrolise



### PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os parâmetros analisados foram cor, turbidez, pH e DQO, as metodologias utilizadas para realização das análises foram seguidos conforme procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (ALPHA, 1998).

As leituras do pH foram realizadas através do método eletrométrico e do desligamento imediato da fonte com um termômetro de mercúrio respectivamente.

A turbidez foi determinada através do turbidímetro modelo TB 100 e a cor através do Espectrofotômetro, modelo DR 2700.

As análises de DQO foram realizadas mediante utilização do aparelho Digestor modelo DBR 200, sendo três tubos HACH com 3,5 mL da solução de  $H_2SO_4/AgSO_4$ , 1,5 mL de dicromato e 2,5mL da amostra do efluente, para DQO, analisou-se as amostras em sua forma bruta e tratada sem filtrar.

### RESULTADOS

A avaliação do tratamento eletrolítico foi realizada por meio da análise dos parâmetros físicos e químicos de pH, turbidez, Cor e DQO, das amostras brutas e tratadas.

### AMOSTRAS

Através dos resultados mostrados na Tabela 1 pode-se observar as características do esgoto, do lixiviado e das diluições estudadas. Parâmetros como a DQO apresentaram valores oscilantes entre 2.740mg/L a 4.670mg/L.

Verifica-se que o pH do esgoto bruto encontra-se na faixa de variação estimada por Von Sperling (2005) de 6,7 a 8,0, embora a DQO esteja muito superior do valor por ele estimado de 450 a 800 mg/l.

Tabela 1 – Características dos efluentes brutos

Parâmetro	pH	Turbidez (NTU)	Cor (UC)	DQO (mg/l)
Esgoto Bruto	7,32	87	860	2.740
Lixiviado Bruto	7,89	1.750	2.870	3.120
Diluição 1 - 99,5% E + 0,5% L	7,40	186	2.000	3.685
Diluição 2 - 97,5% E + 2,5% L	7,41	210	2.140	4.573
Diluição 3 - 95,0% E + 5,0% L	7,69	235	2.380	5.336

Os valores de pH e DQO medidos do lixiviado, 7,89 e 3.120 mg/l, respectivamente, indicam que o aterro está na fase metanogênica (a qual o classifica como antigo). O aterro do estudo tem oito anos de funcionamento e realiza a recirculação, o que favorece a redução do tempo de estabilização da massa de resíduos e do lixiviado, embora seja necessário estudar outros parâmetros, em especial a amônia, para confirmar essa situação. (LANGE *et al.*, 2006).

Na avaliação inicial dos parâmetros verifica-se a linearidade em função do aumento da concentração de lixiviado em uma amostra de esgoto sanitário. Os parâmetros avaliados apresentaram coeficientes de correlação, que segundo Santos (2009), indica a “possibilidade de uso de métodos convencionais utilizados para determinações analíticas de esgoto”.

Para comprovar o comportamento de alguns parâmetros da mistura esgoto/lixiviado, foram traçados as linhas de tendência em relação ao pH e Turbidez. Assim, foram simulados nos gráficos exibidos nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Variação do pH com aumento da concentração de lixiviado

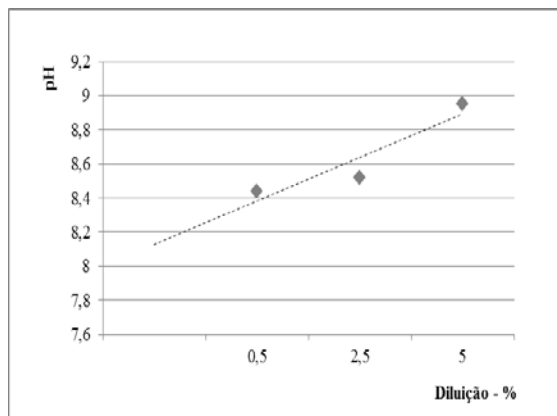
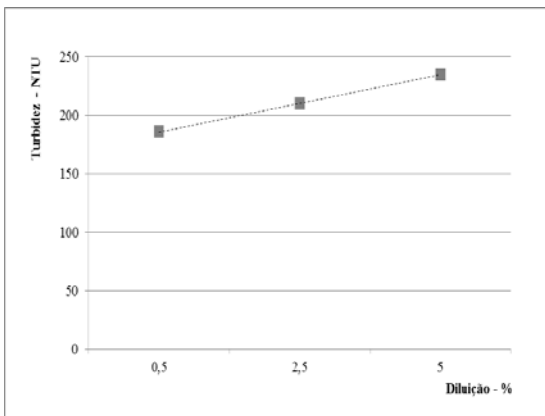


Figura 8 – Variação da turbidez com aumento da concentração de lixiviado



### COR, TURBIDEZ, pH E TEMPERATURA

Os primeiros resultados obtidos com o tempo de eletrolise de 10 minutos, 0,25 Volts e 20 Amperes nas proporções de 0,5%, 2,5% e 5,0% de lixiviado apresentaram redução nos parâmetros estudados de cor e turbidez.

Conforme apresentado na Figura 9 (a) e (b), é possível verificar a eficiência na remoção de cor e turbidez após o processo eletrolítico.

Figura 9 – (a); (b) Aspectos das amostras brutas e tratadas



Na Figura 10 verifica-se que nas três diluições aplicadas houve um aumento nos valores de pH após o processo eletrolítico. Embora esses valores não tenham atingido o limite máximo estabelecido na Resolução Conama 430/2011, os mesmos estão bem próximos a este, em especial na diluição de 5,0%, o que pode ser um fator limitante para a utilização dessa proporção (BRASIL, 2011).

Em relação aos valores de Turbidez a referida Resolução trata apenas da ausência de materiais flutuantes. O estudo apresentou que o processo de eletrocoagulação mostrou-se eficiente para redução deste parâmetro, com percentuais de 77%, 89% e 94% para as diluições de 0,5%, 2,5% e 5,0%, respectivamente. Em relação à eficiência na redução da turbidez, a Figura 11 mostra que a eficiência diminui com o aumento da diluição aplicada. Nesta situação, verifica-se que a diluição 2 – (97,5% E + 2,5% L) apresentou melhor resultado.

Figura 10 – Resultado de pH

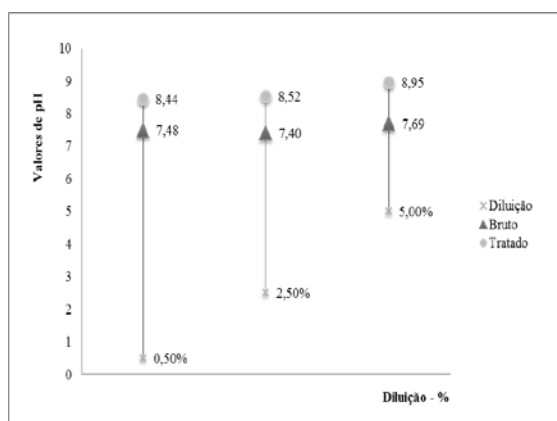
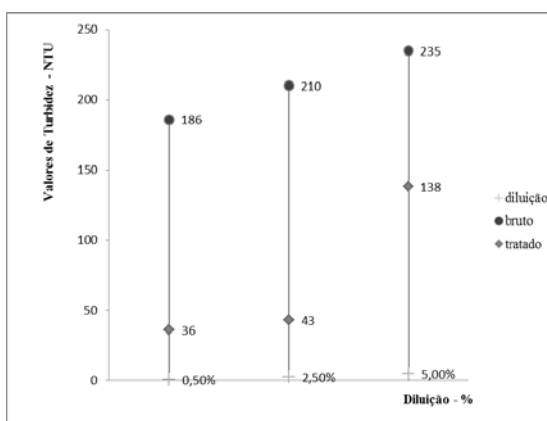


Figura 11 – Resultado de Turbidez



Para o parâmetro Cor, houve redução nos resultados nas diluições estudadas de 0,5% e 5,0% em 81% 33%, respectivamente.

## DQO

Após os ensaios de eletrólise, os resultados encontrados para o parâmetro DQO, apresentaram-se inferiores em relação ao valor inicial da caracterização da diluição bruta, mas com pequena redução, sendo de 40%, 44% e 45% para as diluições de 0,5%, 2,5% e 5,0%, respectivamente.

## CONCLUSÃO

Para este estudo, em fase inicial, o tratamento eletrolítico com eletrodo de alumínio revelou-se satisfatório com redução nos parâmetros analisados, em especial Turbidez que apresentou eficiência superior de 80% de remoção para a diluição de 0,5%.

Também os resultados parciais das proporções de 5,0% de lixiviado de cor, pH e DQO obtidos através das análises dos parâmetros indicam que o processo eletrolítico, nas condições operacionais estudadas, se apresenta como uma alternativa para remoção de poluentes, embora em menor percentual de remoção do que nas proporções de 0,5% e 2,5%.

Espera-se que o processo eletrolítico produza resultados que indicam ser este processo uma alternativa viável para o tratamento combinado de esgotos e lixiviado, com alta eficiência, facilidade de execução e baixo custo de manutenção.

## AGRADECIMENTOS

Aos Técnicos: Sérgio - PMC, Daniel e Luana - UFMT, ao Eng. Sanitarista José Carlos Sene Nava e a CAPES pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. **Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 15 jul. 2014.
2. APHA, AWWA, WEF. **“Standard methods for the examination of water and wastewater”**. 19th. edn. American Public Health Association. Washington, DC. 1998.
3. BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em 06 mai. 2014.
4. BRASIL. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União: 16/05/2011. BRASIL, 2011.
5. COSTA D. R. V.; **Avaliação de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário em comunidades de pequeno porte**. Trabalho de diplomação em Engenharia Civil. Feira de Santana, 2010.
6. FERREIRA, J. A. Tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos com esgoto sanitário. In: GOMES, L. P. (coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
7. GIORDANO G.; FILHO O. B.; CARVALHO R. J. **COAMB-Coletânea em Saneamento Ambiental. Processos físico-químicos para tratamento do lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos**. Volume 4. 1ª edição. Rio de Janeiro – RJ, 2011.
8. JORDÃO E. P.; PESSÔA C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7ª edição. Rio de Janeiro – RJ, 2014.
9. LANGE, L. C.; ALVES, J. F.; AMARAL, M. C. S.; JÚNIOR, W. R. M. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando Reagente de Fenton** - Universidade Federal de Minas Gerais ARTIGO TÉCNICO, 2006.
10. MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; MOREIRA, J.C. Tratamento combinado de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico como alternativa para a solução de um grave problema ambiental e de saúde pública – revisão bibliográfica. **Cad. Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: [http://www.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2011\\_1/artigos/CSC\\_v19n1\\_11-19.pdf](http://www.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2011_1/artigos/CSC_v19n1_11-19.pdf). Acesso em 12 dez. 2014
11. SANTOS, A. F. M. S. **Tratamento anaeróbico de lixiviado em conjunto com esgoto sanitário**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.



12. TOBA H. **Avaliação da aplicação do processo de eletrólise no tratamento do lixiviado de aterro sanitário.** Trabalho de diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.
13. Von Sperling, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Belo Horizonte: DESA/UFGM, 2005.