

### III-128 – CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS TECNOLOGIAS DE COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO, ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO E PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (FENTON)

**Daniela Vidal Vasconcelos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário de Volta Redonda. Mestre em Engenharia Ambiental pela Escola Politécnica da UFRJ. Doutoranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ.

**Juacyara Carbonelli Campos**

D.Sc. em Engenharia Química - Tecnologia Ambiental - PEQ/COPPE/UFRJ. Engenharia Química/UFRJ. Professora Associada do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química /UFRJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Athos da Silveira Ramos, 149 Bloco E sala 206, Ilha do Fundão. Rio de Janeiro. CEP 21941-909. Tel: (24) 99953-4775 - e-mail: [dvvasconcelos@poli.ufrj.br](mailto:dvvasconcelos@poli.ufrj.br)

#### RESUMO

O lixiviado é um dos maiores problemas na operação dos aterros, pois é um efluente de difícil tratamento. O presente trabalho avaliou técnicas de tratamento que pudessem reduzir a concentração dos poluentes, estudadas por diversos pesquisadores nacionais e internacionais nos últimos dez anos. Foram levantados os trabalhos que utilizaram os processos de coagulação/floculação, onde foi avaliada a dosagem de coagulante, cloreto férrico; Adsorção em carvão ativado em pó, onde foi avaliado a dosagem de carvão e Processo de Fenton, onde foram avaliadas as melhores relações Fe/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH e tempo de reação. Nos efluentes dos trabalhos realizados utilizando essas técnicas foram avaliadas as eficiências de remoção de DQO. Os resultados obtidos após os levantamentos bibliográficos indicam que o tratamento do lixiviado por Coagulação removeu até 80,9% da DQO utilizando 400 mg Fe<sup>3+</sup>/L no lixiviado do aterro de Londrina/PR pré-tratado em um sistema de tratamento por lodo ativado em batelada precedido por dois tanques de stripping, e tratamento por Adsorção em carvão ativado removeu até 87% da DQO do lixiviado pré-tratado biologicamente gerado no aterro de Harmandali /Turquia e o Fenton apresenta as melhores eficiências de remoção da DQO do efluente bruto, 86% para o lixiviado gerado em um aterro municipal na Eslovênia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coagulação/Floculação, Carvão Ativado, Reativo de Fenton.

#### INTRODUÇÃO

O lixiviado, um dos maiores problemas da disposição final dos RSUs, é gerado no interior do maciço de resíduos em função da degradação da matéria orgânica, possui características que dificultam o seu gerenciamento e principalmente o seu tratamento.

Esse efluente não pode ser descartado sem tratamento prévio, pois pode causar impactos ao meio ambiente. A sua alta toxicidade pode causar danos à biota existente no solo e nos corpos hídricos, bem como a diminuição do oxigênio dissolvido e a eutrofização dos corpos d'água.

Os tratamentos mais empregados para lixiviados são os processos biológicos e, segundo Moravia et al. (2010) essas tecnologias têm se mostrado insuficientes, o que impossibilita o lançamento do efluente em corpos receptores, pois estes não atendem aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação nacional, RDC 430 de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

As técnicas de tratamento de lixiviado de aterro vem sendo amplamente estudadas no Brasil e no exterior, os tratamentos utilizando coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado e os processos oxidativos avançados vem sendo estudados como tecnologias de pré ou pós tratamento dos lixiviados.

A Coagulação e Floculação têm a finalidade de desestabilizar o material coloidal, com a ajuda de um coagulante, que permite o agrupamento das partículas suspensas e dissolvidas formando flocos que são removidos através de sedimentação (DEZOTTI, 2008).

A adsorção é o processo de acumulação de substâncias que se encontram em solução em um sólido adsorvente. O processo de adsorção tem sido amplamente utilizado no tratamento de águas devido às exigências para uma melhor qualidade de efluente.

Os POAs são usados para oxidar os constituintes orgânicos difíceis de degradar biologicamente em compostos mais simples. Essa técnica de tratamento de efluentes é capaz de tornar os compostos mais sensíveis ao tratamento biológico subsequente ou reduzir a sua toxicidade (METCALF; EDDY, 2003).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo reunir as diversas experiências no tratamento de lixiviados utilizando as tecnologias de Coagulação/ Floculação, Adsorção em Carvão Ativado e Processos Oxidativos Avançados (Fenton) de modo a fornecer uma caracterização geral do desempenho desses processos de tratamento a partir de uma revisão bibliográfica minuciosa em diferentes bases bibliográficas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Primeiro foi realizada uma revisão da bibliografia por meio de consulta a livros, artigos de periódicos científicos, anais de congressos, teses, dissertações, monografias, em busca da abordagem teórica e prática dos sistemas de tratamento lixiviados brasileiros e de outros países, utilizando as tecnologias de Coagulação/ Floculação, Adsorção em Carvão Ativado e Processos Oxidativos Avançados (Fenton), bem como suas condições operacionais e resultados obtidos.

Foram selecionados os estudos que avaliaram a eficiência desses sistemas de tratamento no lixiviado oriundo de 17 aterros diferentes, nacionais e internacionais por meio da análise de trabalhos publicados.

Os estudos foram classificados segundo o tipo de tratamento do efluente. A caracterização dos lixiviados baseou-se no parâmetro de DQO (Demanda Química de Oxigênio), e a eficiência do sistema foi avaliada pela dosagem de reagentes e a remoção de DQO.

Os resultados foram apresentados através de tabelas e de gráficos, que representam as condições de tratamento bem com a eficiência de remoção dos sistemas.

## **RESULTADOS**

Os resultados dos estudos que utilizaram as tecnologias de Coagulação/ Floculação, Adsorção em Carvão Ativado e Processos Oxidativos Avançados (Fenton) são apresentados a seguir.

### **COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

Para a realização do processo há a necessidade de utilizar coagulantes químicos, sais de alumínio e ferro. Os mais utilizados são: Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, pois os custos são relativamente baixos. O coagulante reage com o lixiviado formando hidróxidos, produzindo íons positivos que desestabilizam as cargas negativas dos colóides, permitindo a formação dos coágulos (LIMA, 2005).

Segundo a pesquisa feita por Lima (2005), o lixiviado do Aterro Sanitário de Americana foi colocado em agitação rápida, 800 a 1500 rpm e mesmo após a adição do coagulante essa agitação deve ser mantida até a coagulação das partículas, em seguida a agitação deve ser reduzida para 20 a 80 rpm o que possibilita o choque entre as partículas e formação dos flocos, para a sedimentação dos flocos a agitação deve ser interrompida.

O lodo formado por este processo deve ser destinado adequadamente, pois possui elevada concentração de matéria orgânica e outros materiais que podem causar impacto ao meio ambiente.

A Tabela 1 mostra alguns estudos realizados nos últimos dez anos por pesquisadores que utilizaram essa técnica como tratamento do lixiviado, utilizando como coagulante o Cloreto Férrico.

**Tabela 1: Trabalhos publicados nos últimos 10 anos a respeito da aplicação de Coagulação/Floculação do lixiviado.**

Aterro	DQO Bruto (mg/l)	Coagulante	Dosagem	Eficiência de remoção de DQO (%)	Fonte
Gramacho/RJ	2477	FeCl <sub>3</sub>	700mg FeCl <sub>3</sub> /L	44,8	Rodrigues (2004)
Biguaçu/SC	2920	FeCl <sub>3</sub>	1200mg FeCl <sub>3</sub> /L	35	Castilhos jr. Et al (2006)
Gericinó/RJ	1981	FeCl <sub>3</sub>	500mg Fe <sup>3+</sup> /L	59,9	Ferreira e Campos (2014)
Londrina/PR	2264*	FeCl <sub>3</sub>	400 mg Fe <sup>3+</sup> /L	80,9	Felici et al (2011)
Porto Alegre/RS	4798	FeCl <sub>3</sub>	1102 mg Fe <sup>3+</sup> /L	63	Gewehr (2012)
Gramacho/RJ	2460	FeCl <sub>3</sub>	1400 mg FeCl <sub>3</sub> /L	53	Cheibud et al (2010)
Nova Iguaçu/RJ	8560	FeCl <sub>3</sub>	950 mg FeCl <sub>3</sub> /L	14	Telles (2010)
Volta Redonda/RJ	1031	FeCl <sub>3</sub>	600 mg FeCl <sub>3</sub> /L	29,4	Vasconcelos (2014)
Shuangkou town/ China	2817	FeCl <sub>3</sub>	600 mg FeCl <sub>3</sub> /L	68	Li et al. (2010)
La Zoreda Asturias/ Espanha	19250	FeCl <sub>3</sub>	400 mg FeCl <sub>3</sub> /L	28,1	Marañón et al (2008)
Thessaloniki Greater Area/ Grécia	5350	FeCl <sub>3</sub>	1500 mg FeCl <sub>3</sub> /L	75	Tatsi et al. (2003)
Aterro municipal/ Eslovênia	1200	FeCl <sub>3</sub>	1000mg FeCl <sub>3</sub> /L	34	Gotvajin et al (2009)

\* Lixiviado pré-tratado em um sistema de tratamento por lodo ativado em batelada precedido por dois tanques de stripping.

Sem marcação lixiviado bruto

Como pode ser observado na Tabela 1, o tratamento utilizado obteve eficiências entre 14% a 80,9% variando as dosagens de coagulante entre 400mg FeCl<sub>3</sub>/L e 1500 mg FeCl<sub>3</sub>/L. Alguns trabalhos apresentaram uma baixa eficiência de remoção de DQO, esse fato deve-se a composição química variada do lixiviado e dos resíduos enterrados e da alta concentração de matéria orgânica do lixiviado bruto.

O trabalho de Felici et al. (2011) obteve a maior remoção da DQO. Isso se deve ao pré-tratamento em um sistema de tratamento por lodo ativado em batelada precedido por dois tanques de stripping, realizado antes do tratamento por coagulação/floculação, e devido a esse fato, a dosagem de coagulante foi a menor dentre os trabalhos levantados.

Altas dosagens de coagulante aumentam a eficiência de remoção, como avaliado por Tatsi et al. (2003) e Cheibud et al. (2010), mais o uso de elevadas dosagens de reagentes pode inviabilizar economicamente o projeto.

### ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

O adsorvente mais comum é o carvão ativado. Seja granulado ou em pó, o carvão é muito utilizado para remover uma parte do material orgânico dissolvido remanescente de outros tratamentos (METCALF; EDDY, 2003).

Segundo Heller; Pádua (2006), fatores, como temperatura, natureza do carvão, pH do efluente e substância a ser adsorvida, interferem na capacidade de adsorção do carvão. Por isso, essa técnica de tratamento não pode ser aplicada em todos os tipos de efluentes.

A Tabela 2 apresenta uma coletânea de estudos realizados por diversos pesquisadores nos últimos dez anos, utilizando adsorção em carvão ativado em pó (CAP) como tratamento de lixiviado, seja como pré ou pós-

tratamento. Muitos utilizaram como pós tratamento do lixiviado tratado por processos biológicos para aumentar a eficiência de remoção da DQO.

**Tabela 2: Trabalhos publicados nos últimos 10 anos a respeito da aplicação da Adsorção em Carvão Ativado em pó.**

Aterro	DQO Bruto (mg/L)	Dosagem CAP (g/L)	Eficiência de remoção de DQO (%)	Fonte
Londrina/PR	1144*	9	86	Kuroda et al (2014)
Gramacho/RJ	2580	10	80	Borges et al (2010)
Volta Redonda/RJ	2600	5	69	Vasconcelos (2014)
Shuangkou Town/China	901,4**	10	53	Li et al. (2010)
Aterro municipal/ Eslovênia	2455	50	86	Cotman e Gotvajn(2010)
Shanghai Laogang/ China	451*	3	24,6	Liyan et al. (2009)
Pulau Burung Landfill Site/ Malásia	2860	3	49	Aghamohammadi et al. (2007)
Harmandali /Turquia	5750	1	75	Kargi; Uygur (2004)
Harmandali /Turquia	4279	5	49	Kargi; Pamukoglu (2004)
Harmandali /Turquia	1150*	2	87	Kargi; Pamukoglu (2004)

\* efluentes pré-tratados biologicamente.

\*\* efluente pré-tratado por coagulação-floculação.

Sem marcação: lixiviado bruto

Em geral, os trabalhos com carvão ativado em pó mostraram significativas eficiências de remoção, porém as melhores foram encontradas utilizando 10 e 50 g/L de carvão em pó apresentaram as melhores eficiências na remoção da DQO.

O uso de elevadas dosagens de carvão ativado em pó aumenta a eficiência de remoção da DQO como as pesquisas feitas por Borges (2010) e Cotman; Gotvajn (2010), porém, quando o efluente é pré-tratado biologicamente as eficiências são ainda maiores.

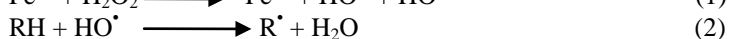
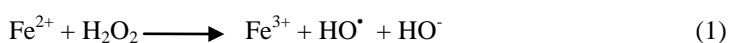
Os trabalhos que utilizaram a adsorção em CAP como pós tratamento obtiveram eficiência de até 87% na remoção da DQO do lixiviado da Turquia pré-tratado por processo biológico e 53% para o lixiviado da China pré-tratado por coagulação/floculação, o que comprova que o uso do carvão em pó utilizado como pós-tratamento do lixiviado possui resultados promissores para a remoção de matéria orgânica desse efluente.

## PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Essa técnica é baseada na formação de radicais hidroxilas ( $\text{HO}\cdot$ ). Esses radicais reagem com os constituintes dissolvidos, iniciando uma série de reações de oxidação até que os componentes sejam completamente mineralizados.

Existem muitos processos, porém os POAs mais utilizados são: Fenton, Foto-Fenton, Ozonização, Fotólise de Peróxido de Hidrogênio e a Fotocatálise Heterogênia (ROCHA, 2009).

O Fenton se dá pela oxidação do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), catalisado por íons ferrosos, gerando radicais hidroxilas (reação 1). O radical  $\text{HO}\cdot$  produzido reage rapidamente com substâncias orgânicas (RH), gerando novos radicais e água (reação 2).



Para que o processo de tratamento utilizando Fenton tenha bons resultados é necessário que se mantenha o pH em torno de 3 e que se controle a quantidade de peróxido e íons ferrosos, pois o excesso pode fazer com que os radicais hidroxilas sejam capturados (DEZOTTI, 2008).

O reagente de Fenton possui excelente eficiência quando utilizado no tratamento de efluentes. O peróxido de hidrogênio e o sulfato ferroso utilizados no processo possuem baixo custo e os produtos finais de reação são: água, oxigênio e hidróxido de ferro.

Na Tabela 3 é apresentada uma coletânea de estudos nacionais e internacionais que utilizaram Processos Oxidativos Avançados (Fenton) como técnica de tratamento de lixiviado nos últimos dez anos e chegaram a obter eficiência de 95% de remoção de DQO.

**Tabela 3: Trabalhos publicados nos últimos 10 anos a respeito da aplicação dos Processos Oxidativos Avançados – Fenton.**

Aterro	DQO Bruto (mg/L)	Razão $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$	pH	Tempo (min)	Eficiência de remoção de DQO (%)	Fonte
Belo Horizonte/MG	2971	1/6	5	30	80	GOMES et al. (2009)
Gericinó/RJ	1762	1/7,5	3	60	83,2	Queiroz et al. (2011)
Aracruz/ES	3917	1/25	3	60	68,2*	Russo et al. (2010)
Belo Horizonte/MG	2513	1/10	5	30	75	Lange et al (2006)
CTR Belo Horizonte/MG	2834	1/5,3	3,8	30	77	Moravia et al. (2011)
Volta Redonda	2023	1/3	2	120	82,3	Vasconcelos (2014)
Aterro municipal/ Eslovênia	2455	1/10	4	10	70-85	Cotman; Gotvajn(2010)
Aterro municipal/ Eslovênia	3400	1/10	12	30	86	Gotvajn et al. (2009)
Badajoz/Espanha	7400	1/100	3,5	-	80**	Rivas et al (2004)
Harmandali Landfill/ Turkey	22400**	1/1	3	30	79	Pala; Erden (2004)
Colmenar Viejo/ Espanha	2072	1/1,5	2,5	120	75	Hermosilla et al (2009)
CSWMC/ Estados Unidos	3000	1/1,5	2,5	30	37,5	Zhang et al (2005)
CSWMC/ Estados Unidos	4000	1/3	2,5	60	68,2	Zhang et al (2006)
Wuhan/China	3424	1/12	3,0	120	62,9	Zhang et al (2012)

\* Tratamento combinado Eletrocoagulação + Fenton

\*\* Tratamento combinado Precipitação + Fenton

Sem marcação: lixiviado bruto

Os autores, citados na Tabela 3, obtiveram em suas pesquisas eficiências entre 37,5% a 86%, porém em relação às razões  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  usadas nos trabalhos, muitos utilizaram altas dosagens de peróxido de hidrogênio em relação ao íon férrico, como por exemplo, Queiroz (2010) que obteve eficiência de remoção de DQO igual a 83,2 % utilizando a relação  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  igual a 1/7,5, com apenas 60 minutos de contato, já Vasconcelos (2014) utilizou uma dosagem menor (razão  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  igual a 1/3) em pH mais baixo porém com tempo de contato maior, 120 minutos.

Gotvajn et al. (2009) utilizando a razão de 1/10 obtiveram eficiência de 86%, mas em pH básico, o que não é muito comum em tratamentos por Fenton.

A utilização do Fenton como pós-tratamentos dos lixiviado da cidade de Aracruz que foi tratado anteriormente por eletrocoagulação obteve a eficiência de 68,2% porém utilizou a razão  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  muito alta, 1/25. Os trabalhos realizados com os lixiviados da Turquia e da Espanha, que foi tratado antes por Precipitação, obtiveram a eficiência de remoção de DQO de 80%. Esses resultados demonstram que o Fenton utilizado como pós-tratamento apresentam um ótimo desempenho.

## CONCLUSÕES

De acordo com os trabalhos os resultados dos testes de coagulação/floculação obtidos neste estudo, em geral, apresentaram uma baixa eficiência de remoção de DQO, porém, esse fato deve-se a composição química variada do lixiviado e dos resíduos enterrados.

Em geral, o tratamento utilizando carvão ativado apresenta boa eficiência de remoção da DQO, de 49% a 86%. Alguns autores utilizaram dosagens elevadas, como por exemplo, Cotman e Gotvajn (2010) que usou 50g/L. Entretanto, deve-se considerar que o emprego de dosagens elevadas pode dificultar a aplicação dessa técnica de tratamento no aterro, considerando os custos elevados de um sistema de tratamento em escala real e a sua regeneração.

Os estudos utilizando Fenton foram os que obtiveram as melhores porcentagens de remoção, obtendo eficiências de remoção maiores que 80%.

As características do lixiviado mudam muito de aterro para aterro e também mudam em função da época do ano, além de receberem uma mistura de resíduos domésticos e comerciais e dependendo do resíduo depositado, o lixiviado vai ter uma composição específica, por isso a necessidade de se avaliar o efluente de cada aterro, pois o histórico de deposição de resíduos no aterro provoca uma grande variação na composição do efluente.

Essa complexidade e variabilidade da composição desse efluente torna mais difícil a tentativa de se estabelecer as melhores condições de tratamento utilizando uma das técnicas estudadas, por isso o tratamento ideal de lixiviado, que reduza os impactos este pode causar ao meio ambiente, ainda é um grande desafio.

Os métodos aqui apresentados mostraram a grande variedade de condições na aplicação de processos de tratamento de lixiviado, sendo necessário avaliar cada caso, com base em resultados de experiências já retratadas, para que se possa estabelecer o sistema mais adequado para cada tipo de lixiviado, segundo suas características.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGHAMOHAMMDI, N. et al. Powdered activated carbon augmented activated sludge process for treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology. *Bioresource Technology*. v. 98. Iran. p. 3510-3578. 2007.
2. BORGES, R.M.H.; SILVA, L.R.; CAMPOS, J.C. Processo híbrido aplicado ao tratamento do chorume do aterro metropolitano de Gramacho (RJ). In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória, ES. Anais... ABES.
3. CASTILHOS Jr, A.B. PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Edital 4. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção dos Corpos D'água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. 2006. 494p.
4. CHEIBUB, A.F.; CAMPOS, J.C; FONSECA, F.V. Removal of COD from a stabilized landfill leachate by physicochemical and Advanced Oxidative Process. In press. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 32f. 2014.
5. COTMAN, M.; GOTVAJN, A.Z. Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*. v. 178. Slovenia. p. 208-305, 2010.
6. DEZOTTI, M. et al. Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. *Serie Escola Piloto de Engenharia Química. COPPE/UFRJ*. v. 5. Rio de Janeiro. 2008.
7. FELICI, E.M. Remoção de DQO e cor verdadeira de lixiviado por processo de coagulação-floculação-sedimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 26. Anais... ABES, 2011.
8. FERREIRA, D.S.; CAMPOS, J.C. Estudo comparativo da coagulação-floculação e eletrocoagulação no tratamento de lixiviado de Aterro Sanitário. In: SIMPOSIO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12. Natal. Anais... ABES. 2014.
9. GEWEHR, A.G. Tratamento por Coagulação/Floculação de Lixiviado Bruto de Aterro Sanitário com e sem Pré-Tratamento Biológico em Reator Sequencial em Batelada. 2012. 163f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, RS.
10. GOMES, L. P. PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Edital 5. 3 Resíduos sólidos: Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras, 2009, 362 p.
11. GOTVANJN, A.Z.; TISLER, T.; KONCAN, J.Z. Comparison of different treatment strategies for industrial leachate. *Journal of Hazardous Materials*. v. 162, Slovenia, p. 1446-1456, 2009.

12. HERMOSILLA, D.; CORTIJO, M.; HUANG, C.P. Optimizing the treatment of landfill leach ate by conventional Fenton and photo-Fenton process. *Science of the Total Environment*. v. 407, United States of America, p. 3473-3481, 2009.
13. KARGI, F.; PAMUKOGLU, M.Y. Powered activated carbon added biological treatment of pre-treated landfill leach ate in fed-batch reactor. *Biotechnology Letters*. v. 25, Turkey, p. 695-699, 2003.
14. KARGI, F.; PAMUKOGLU, M.Y. Adsorbent supplemented biological treatment of pre-treated landfill leach ate by fed-batch operation. *Bioresource Technology*. v. 94, Turkey, p. 285-291, 2004.
15. KARGI, F.; UYGUR, A. Biological nutrient removal from pre-treated landfill leach ate in a sequencing batch reactor. *Journal of Environmental Management*. v. 71, Turkey, p. 9-14, 2004.
16. KURODA, E.K. Pós-tratamento de lixiviado estabilizado de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado pulverizado. In: SIMPOSIO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12. Natal. Anais... ABES. 2014.
17. LANGE, L.C. et al. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 11, n. 2, p.175-183, 2006.
18. LI, W. et al. Treatment of stabilized landfill leach ate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption. *Desalination*. v. 264, China, p. 56-62, 2010.
19. LIMA, L.M.Q. Remediações de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia) Editora Hemus. São Paulo. 2005. 283p.
20. LIYAN, S. et al. Hydrophobic organic chemical (HOCs) removal from biologically treated landfill leach ate by powder activated carbon (PAC), granular-activated carbon (GAC) and biomimetic fat cell (BFC). *Journal of Hazardous Materials*. v. 163, China, p. 1084-1089, 2009.
21. MARAÑÓN, E. et al. Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leach ate nitrification-denitrification plant. *Journal of Hazardous Materials*. v. 156, Spain, p. 538-544, 2008.
22. METCALF; EDDY. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*, 4th edition, McGraw-Hill, USA. 2003. 1877p.
23. MORAVIA, W.G. et al. Avaliação de Processo Oxidativo Avançado pelo Reagente de Fenton em Condições Otimizadas no Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário com Ênfase em Parâmetros Coletivos e Caracterização do Lodo Gerado. *Revista Química Nova*, v. 34, n. 8, Belo Horizonte, MG, 2011.
24. PALA, A.; ERDEN, G. Chemical Pretreatment of landfill each ate discharged into municipal Biological Treatment Systems. *Environmental Engineering Science*. v. 21. Turkey. p. 549-557, 2004.
25. QUEIROZ, L.G. et al. Estudo do processo Fenton e Foto-Fenton no tratamento de lixiviados de aterros sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 26. Anais... ABES, 2011.
26. RIVAS, F.J. et al. Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Journal of Hazardous Materials*. v. 116, Spain, p. 95-102, 2004.
27. ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução a Química Ambiental*. 2ª edição. Editora Bookman. Porto Alegre. 2009. 256p
28. RODRIGUES, F.S.F. Aplicação da Ozonização e do Reativo de Fenton Como Pré-Tratamento de Chorume com os Objetivos de Redução da Toxicidade e do Impacto no Processo Biológico. Rio de Janeiro, RJ, 2004, 90p.
29. RUSSO, C.M. et al. Aplicabilidade da eletrocoagulação, eletro-coagulação seguida de reativo de Fenton e Eletrofenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 14. Porto/Portugal. Anais... ABES, 2010.
30. TATSI, A.A. et al. Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*. v. 53, Greece, p. 737-744, 2003.
31. TELLES, C.A.S. Processos Combinados para o Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário. 2010, 149f. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
32. VASCONCELOS, D.V. Estudo da Tratabilidade do Lixiviado Gerado no Aterro Controlado de Volta Redonda(RJ).2014. 66f. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
33. ZHANG, H.; CHOI, H.J.; HUANG,C.P. Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leach ate. *Journal of Hazardous Materials*. v. 125. China. P. 166-174, 2005.
34. ZHANG, H.; WU,X.; LI,X. Oxidation and coagulation removal of COD from landfill leach ate by Fered-Fenton process. *Chemical Engineering Journal*. v. 210, China, p.188-194, 2012.
35. ZHANG, H.; CHOI, H.J.; HUANG, C.P. Treatment of landfill leach ate by Fenton's reagent in a continuous stirred tank reactor. *Journal of Hazardous Materials*. v. 136, China, p. 618-623, 2006.