



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

DANIELA VIDAL VASCONCELOS

ESTUDO DA TRATABILIDADE DO LIXIVIADO GERADO NO ATERRO
CONTROLADO DE VOLTA REDONDA (RJ)

Rio de Janeiro
2014



Daniela Vidal Vasconcelos

Estudo da Tratabilidade do Lixiviado Gerado no Aterro Controlado de Volta Redonda (RJ)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Juacyara Carbonelli
Campos

Rio de Janeiro

2014

Vasconcelos, Daniela Vidal.

ESTUDO DA TRATABILIDADE DO LIXIVIADO GERADO NO ATERRO CONTROLADO DE VOLTA REDONDA (RJ) / Daniela Vidal Vasconcelos – Rio de Janeiro, 2014. UFRJ/POLI/PEA, 2014

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014.

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos

1. Coagulação/Floculação 2. Carvão Ativado 3. Reativo de Fenton.
4. Biodegradabilidade Aeróbia – Teses. I. Juacyara C. (Orient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Politécnica. III. Título



ESTUDO DA TRATABILIDADE DO LIXIVIADO GERADO NO ATERRO CONTROLADO DA CIDADE VOLTA REDONDA/RJ

Daniela Vidal Vasconcelos

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof^a Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc., EQ/UFRJ (Orientadora)

Bianca Quintaes Ramalho, D.Sc., COMLURB

Prof. Alexandre Lioi Nascentes, D.Sc., UFRJ

Prof^a Cristina Aparecida Gomes Nassar, D.Sc., Ecologia/UFRJ

Rio de Janeiro

2014

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, aos meus pais pelo apoio e por me proporcionarem a educação necessária para obtenção desta conquista, ao meu namorado Luís Gustavo pelo incentivo e atenção.

AGRADECIMENTOS

À professora Juacyara Carbonelli Campos pela orientação, atenção, dedicação e por todas as suas contribuições durante este trabalho.

Aos amigos Larissa Loureiro e Igor Lopes pela dedicação, paciência, seriedade e auxílio na realização de todas as análises envolvidas neste trabalho.

Aos amigos do LabTARE, André Pereira, Kleby, Yuri, Érica, Leandro, e Mariana.

Aos colegas da Prefeitura Municipal de Volta Redonda, Marco, Rogério, Ilka, Henrique e Renildo pela ajuda na coleta e transporte das amostras.

Aos demais funcionários da PMVR pelas informações sobre o lixão.

Ao Sr. Secretário de Meio Ambiente de Volta Redonda por me liberar todas as sextas-feiras para fazer o mestrado.

Aos meus grandes mestres que tive na minha graduação no UniFOA e nos quais eu tento sempre me espelhar: Amarildo, Eber, Jaime Alex, Jaime Monteiro, Maurício, Lauro Takeda e Luis Carlos Bevilaqua.

Aos meus irmãos Wanderson e André pelo apoio.

RESUMO

VASCONCELOS, D. V. **Estudo da Tratabilidade do Lixiviado Gerado no Aterro Controlado de Volta Redonda (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

O lixiviado é um dos maiores problemas na operação dos aterros, pois é um efluente de difícil tratamento. No Aterro Controlado de Volta Redonda (RJ), o único tratamento existente é a recirculação do lixiviado. O presente trabalho avaliou as técnicas de tratamento por Coagulação/Floculação, Adsorção em Carvão Ativado e Fenton na redução da concentração dos poluentes e no aumento a biodegradabilidade aeróbia do lixiviado para que este possa ser tratado biologicamente. No processo de Coagulação/floculação, no qual foram avaliados o pH (4 a 8) e a concentração de cloreto férrico (100 a 600 mg/L). Na Adsorção em carvão ativado em pó, foram avaliadas as concentrações de 0,1 a 5,0 g/L. No Processo de Fenton, foram avaliadas as melhores relações DQO/ H₂O₂, 1/0,5, 1/1, 1/2 e 1/5, além das relações Fe/H₂O₂ 1/3, 1/5 e 1/10. Os efluentes dos processos testados foram monitorados quanto as concentrações de DQO, a Absorbância 254 e a concentração de Carbono Orgânico Total. Os resultados obtidos indicam que o tratamento do lixiviado por Coagulação removeu 64% do COT e tratamento por adsorção em carvão ativado removeu 69% da DQO e o Fenton apresenta as melhores eficiências de remoção da DQO, 78,4%. Nas melhores condições dos processos testados, foi avaliada a biodegradabilidade aeróbia dos efluentes tratados. Os resultados de biodegradabilidade aeróbia para o lixiviado tratado com a Coagulação/Floculação e Adsorção em Carvão Ativado mostram que o tratamento não tornou o efluente mais biodegradável que o lixiviado bruto. Já o tratado por Fenton, teve uma biodegradabilidade de 12% em relação ao bruto.

Palavras-chave: Coagulação/Floculação, Carvão Ativado, Reativo de Fenton, Biodegradabilidade Aeróbia.

ABSTRACT

VASCONCELOS, D. V. **Estudo da Tratabilidade do Lixiviado Gerado no Aterro Controlado de Volta Redonda (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

The leachate is a major problem in the operation of landfills as it is a difficult to treat effluent. Controlled Landfill in Volta Redonda (RJ), the only available treatment is the recirculation of leachate. This study evaluated the treatment techniques for coagulation/flocculation, adsorption on activated carbon and Fenton in reducing pollutant concentrations and increasing the aerobic biodegradability of the leachate so that it can be treated biologically. In the coagulation / flocculation process in which the pH (4 to 8) and ferric chloride concentration (100 to 600 mg/L) were evaluated. In Adsorption on powdered activated carbon concentrations from 0.1 to 5.0 g/L were evaluated. In Fenton process, we evaluated the improved relations COD/H₂O₂, 1/0,5, 1/1, 1/2 and 1/5, in addition to Fe/H₂O₂ third, fifth and tenth relations. The effluents of the tested processes were monitored as the concentrations COD, absorbance at 254 and the concentration of Total Organic Carbon. The results indicate that the treatment of the leachate by coagulation removed 64% of the TOC and treatment by adsorption on activated charcoal 69% of COD removed and Fenton shows the best efficiency of COD was 78.4%. In the best of conditions tested processes, the aerobic biodegradability of treated effluent was evaluated. The results for the aerobic biodegradation of leachate treated with the coagulation / flocculation and adsorption on activated carbon show that the treatment did not render the leachate more biodegradable crude effluent. Already treated by Fenton, had a biodegradability of 12% on the gross.

Keywords: Coagulation / Flocculation, Activated Carbon, Reactive Fenton, Aerobic Biodegradability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes dos Íons Encontrados do Lixiviado	21
Tabela 2 - Composição Física do Resíduo Brasileiro.....	21
Tabela 3 - Composição dos Lixiviados Gerados em Alguns Aterros Nacionais	22
Tabela 4 - Composição dos Lixiviados Internacionais.....	23
Tabela 5 - Classificação do Aterro de Acordo com a Composição.....	23
Tabela 6 - Características dos Lixiviados na Fase Ácida	25
Tabela 7 - Características dos Lixiviados na Fase Metanogênica.....	25
Tabela 8 - Concentração da DBO dos Lixiviados dos Municípios do Médio Paraíba do Sul.	26
Tabela 9 - Alguns Trabalhos Publicados nos Últimos 10 Anos a Respeito da Aplicação de Coagulação/Floculação do Lixiviado.....	29
Tabela 10 - Alguns Trabalhos Publicados nos Últimos 10 Anos a Respeito da Aplicação da Adsorção em Carvão Ativado em Pó.	31
Tabela 11 - Alguns Trabalhos Publicados nos Últimos 10 Anos a Respeito da Aplicação dos Processos Oxidativos Avançados – Fenton.....	33
Tabela 12 - Resultados Obtidos nos Sistemas de Tratamento Estudados pelos Editais 4 e 5 do Prosab.	35
Tabela 13 - Variáveis e Concentrações Avaliadas nos Ensaios de Coagulação/Floculação	39
Tabela 14 - Condições Utilizadas nos Testes de Fenton.	41
Tabela 15 - Caracterização do Lixiviado Bruto de Volta Redonda (Rj)	46
Tabela 16 - Resultados dos Testes de Variação do pH para os Ensaios de Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Mistura Rápida, 150rpm por 1 Minuto / Mistura Lenta, 20 Rpm por 20 Minutos)	48
Tabela 17 - Resultados da Variação da Concentração do Coagulante para os Ensaios de Coagulação/Floculação com FeCl ₃ (Mistura Rápida, 150rpm por 1 Minuto / Mistura Lenta, 20 Rpm por 20 Minutos).....	49

Tabela 18 - Resultados das Análises de COT para o Lixiviado Bruto e os Tratados em pH Igual a 4 e nas Concentrações de 200 mg/L e 300 mg/L de Coagulante.	49
Tabela 19 - Resultados dos Testes de Adsorção com Carvão Ativado em Pó Após Contado por 24 Horas.	51
Tabela 20 - Resultados dos Ensaios do Reativo de Fenton Utilizando as Relações DQO/H ₂ O ₂ Iguais a 1/1, 1/2 e 1/5 por 120 Minutos.	52
Tabela 21 - Resultados dos Ensaios do Reativo de Fenton Utilizando as Relações DQO/H ₂ O ₂ Iguais a 1/1, 1/0,5 por 120 Minutos.	53
Tabela 22 - Resultados de Biodegradabilidade Aeróbia em 29 Dias	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maciço de Lixo Quando o Lixão de Volta Redonda ainda estava em Operação.....	16
Figura 2 - Caminhão Recirculando o Lixiviado Sobre o Maciço de Lixo.....	17
Figura 3 - Aparência do Lixão de Volta Redonda Após Encerramento.	18
Figura 4 - Concentração da DBO dos Lixiviados da Bacia do Rio Paraíba do Sul....	27
Figura 5 - Metodologia de Tratamento do Lixiviado	37
Figura 6 - Tanque de Recepção de Lixiviado em Dezembro de 2011.....	38
Figura 7 - Tanque de Recepção de Lixiviado em Fevereiro de 2014.....	38
Figura 8 - Ensaio de Coagulação/Floculação.....	40
Figura 9 - Execução do Teste de Fenton	41
Figura 10 - Teste de Biodegradabilidade em Execução.....	44
Figura 11 - Aspecto Visual das Amostras do Lixiviado Bruto e dos Tratados	50
Figura 12 - Resultados de Ensaio de Biodegradabilidade do Efluente Tratado por Coagulação/Floculação.....	54
Figura 13 - Resultados de Ensaio de Biodegradabilidade Aeróbia do Efluente Tratado por Adsorção.....	55
Figura 14 - Resultados de Ensaio De Biodegradabilidade Aeróbia do Efluente Tratado por Fenton.....	56
Figura 15 - Esquema de Tratamento Combinado	58
Figura 16 - Esquema de Tratamento em uma Estação de Tratamento de Lixiviado.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

Especiais

CAP Carvão Ativado em Pó

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT Carbono Orgânico Total

CTR Centro de Tratamento de Resíduos

DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO Demanda Química de Oxigênio

ETE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

pH Potencial Hidrogeniônico

POA Processo Oxidativo Avançado

PROSAB Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RSU Resíduos Sólidos Urbanos

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 ATERRO CONTROLADO DE VOLTA REDONDA.....	16
3.1.1 Remediação do Maciço de Resíduos Sólidos	18
3.2 COMPOSIÇÃO DOS LIXIVIADOS GERADOS	20
3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS COMO TRATAMENTO DE LIXIVIADO	27
3.3.1 Coagulação/Floculação	27
3.3.2 Adsorção em Carvão Ativado	30
3.3.3 Processos Oxidativos Avançados	31
3.3.4 Outros Sistemas de Tratamento	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 COLETA DO EFLUENTE	37
4.2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	39
4.3 ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO.....	40
4.4 REATIVO DE FENTON	40
4.5 TESTES DE BIODEGRADABILIDADE AERÓBIA	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO.....	45
5.2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	48
5.3 ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO.....	51
5.4 REATIVO DE FENTON	52
5.5 TESTES DE BIODEGRADABILIDADE AERÓBIA	54
5.5.1 Coagulação/Floculação	54
5.5.2 Adsorção em Carvão Ativado	55
5.5.3 Reativo de Fenton	56
5.5.4 Resumo dos Resultados de Biodegradabilidade Aeróbia	57

5.6 PROPOSTA DE TRATAMENTO	58
5.6.1 Tratamento Combinado	58
5.6.2 Estação de Tratamento de Lixiviado	59
6 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

Em 2010, com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/ 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 2010, em seu artigo quadragésimo sétimo, item II, proíbe a destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos lançados in natura a céu aberto, ficando institucionalmente proibida a utilização de lixões como destinação final dos resíduos sólidos e no art. 54 determina um prazo de 4 anos para que todos os lixões sejam encerrados e que os municípios encontrem uma disposição final ambientalmente adequada para os rejeitos.

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.

A produção do lixiviado, e suas características dependem de diversos fatores como: precipitação, características dos resíduos depositados, características da camada de cobertura e das reações bioquímicas.

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.

Castilho Jr et al. (2006) e Gomes et al. (2009) pesquisaram através dos editais 4 e 5 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) diversas técnicas de tratamento de lixiviados. Podendo-se destacar o processo de lodos ativados, lagoas de estabilização, filtros biológicos aeróbios e anaeróbios, wetlands, arraste de amônia, processos oxidativos avançados (POA) e coagulação/floculação.

Segundo Maia (2012), os processos biológicos são os mais indicados para tratar lixiviado com alta relação DBO/DQO devido ao baixo custo de operação. Já os métodos físico-químicos têm sido mais aplicados no tratamento de lixiviado antigo e com baixa biodegradabilidade, pois estes necessitam de tratamento químico eficiente para redução do teor das substâncias recalcitrantes.

O lixiviado gerado no aterro controlado de Volta Redonda encerrado em 2012 após 22 anos de operação, é estocado em tanques de retenção sem ter um tratamento adequado, sendo recirculado em caráter provisório até que a Prefeitura possa decidir qual o tratamento será dado ao efluente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa estudar técnicas de tratamento para o lixiviado do lixão de Volta Redonda de forma a minimizar o impacto ocasionado pela elevada concentração de matéria orgânica e, dessa forma, aumentar a sua biodegradabilidade para que possa ser tratado em sistemas biológicos, seja em uma Estação de Tratamento de Lixiviados ou em uma Estação de Tratamento de Esgotos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físico-químicas do lixiviado gerado no lixão de Volta Redonda;
- Avaliar as condições ótimas do processo de coagulação/floculação com cloreto férrico no tratamento do lixiviado do lixão de Volta Redonda para remoção de matéria orgânica;
- Avaliar as condições ótimas do processo de adsorção em carvão ativado em pó no tratamento do lixiviado do lixão de Volta Redonda para remoção de matéria orgânica;
- Avaliar as condições ótimas do processo de Fenton no tratamento do lixiviado do lixão de Volta Redonda para remoção de matéria orgânica;
- Avaliar a biodegradabilidade aeróbia dos lixiviados tratados;
- Estabelecer uma possível rota de tratamento utilizando os resultados obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ATERRO CONTROLADO DE VOLTA REDONDA

Como numerosos municípios brasileiros, Volta Redonda não teve um planejamento adequado para a destinação dos resíduos sólidos urbanos recolhidos nas residências, comércio e os gerados nas atividades de limpeza e conservação dos logradouros públicos.

A expansão urbana levou a Prefeitura Municipal de Volta Redonda a construir um depósito para os resíduos coletados. Segundo Bazan; Oliveira (2010), o lixão estava em operação há, aproximadamente, 22 anos e ocupava uma área total de 94.200 m², localizada na região rural do município de Volta Redonda, à margem do Ribeirão Brandão, e próximo a uma Unidade de Conservação, a Área de Relevante Interesse Ecológico Floresta da Cicuta.

O local, aos poucos, foi ocupado desordenadamente e os resíduos dispostos a céu aberto ocupando uma área de quase 36.000 m². O terreno, em sua conformação inicial, era um vale com declividade variando 30 m entre o ponto mais baixo e o mais alto. Dessa forma, com a contínua disposição e espalhamento dos resíduos, formou-se um talude com uma declividade em entorno de 2:1 com cerca de 30 metros de altura, como mostra a Figura 1 (PAULA, 2012).



Figura 1: Maciço de resíduos sólidos quando o lixão de Volta Redonda ainda estava em operação.

Fonte: Prefeitura Municipal de Volta Redonda (2005).

No ano de 2010, o lixão passou por reformas e se transformou em aterro controlado, foram instalados drenos para captação do lixiviado e para a captação do gás metano. O lixiviado que até então era acondicionado em lagoas inadequadas passa a ser lançado em um tanque de recepção que tem uma capacidade de 455 m³ e é capaz de conter o líquido por um tempo de 10 dias, recebendo uma vazão média diária de 41m³/dia (BAZAN; OLIVEIRA, 2010).

Segundo comunicação pessoal com os funcionários da prefeitura (2013), a intenção na época era tratar o lixiviado em uma Estação de Tratamento de Esgotos - ETE em outro município, mas, devido a alguns problemas, isso não ocorreu e a solução foi lançar lixiviado em cima do maciço, em caráter emergencial, caso o contrario ele poderia ser lançado no Rio Brandão.

A recirculação foi feita por um grande tempo e era realizada por um trator e um tanque com bomba para o transporte e aspersão do lixiviado, conforme Figura 2. Segundo o diagnóstico feito pelo Ministério das Cidades em 2008, 22,6% dos municípios brasileiros fazem também a recirculação do lixiviado. Segundo Telles (2010), essa técnica torna o lixiviado cada vez mais estável, pois toda matéria orgânica biodegradável é convertida em substâncias mais estáveis pelos microorganismos na recirculação.



**Figura 2: Caminhão recirculando o lixiviado sobre o maciço de lixo.
Fonte: Prefeitura Municipal de Volta Redonda (2011) .**

Segundo Costa (2012), essa área recebeu diariamente 180 toneladas de resíduos sólidos domésticos e 1,5 toneladas de resíduos provenientes da área da saúde até que em 2012 ocorreu o encerramento do lixão, e todo o resíduo foi coberto com solo e compactado, conforme mostra Figura 3.

Com o encerramento, os resíduos do município passaram a ser destinados para o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Barra Mansa. Essa parceria foi feita através de contrato, visto que o CTR é administrado por uma empresa privada.



**Figura 3: Aparência do lixão de Volta Redonda após encerramento.
Fonte: Confeção Própria**

3.1.1 Remediação do maciço de resíduos sólidos

Em 2013 a Prefeitura Municipal de Volta Redonda, em parceria com o Governo do Estado do Rio de Janeiro contratou uma empresa especializada para elaborar o projeto de remediação do lixão municipal.

Segundo Veríssimo et al (2013), após vários estudos a empresa determinou as seguintes medidas a serem implantadas para a remediação do lixão:

- ✓ Fechamento da área remediada com cerca e replantio onde não houver mata nativa;

- ✓ Readequação das instalações de apoio para segurança, fiscalização e controle de veículos, equipamentos e pedestres;
- ✓ Conformação dos platôs e taludes;
- ✓ Implantação de um sistema de drenagem de águas superficiais visando minimizar os fluxos de água no interior da massa aterrada e de seu entorno;
- ✓ Instalação de poços de monitoramento de águas subterrâneas;
- ✓ Implantação do sistema de drenagem e coleta de efluentes líquidos percolados (chorume) da área a ser remediada;
- ✓ Reativação do sistema de tratamento de chorume;
- ✓ Implantação do sistema de drenagem e queima de gases;
- ✓ Encerramento da célula de aterro com o recobrimento final das áreas aterradas com camada mínima de 0,50m de solo compactado, geomembrana e camada de, no mínimo, 0,40m de solo vegetal para garantir o recobrimento com vegetação nativa de raízes não axiais;
- ✓ Instalação de um sistema de monitoramento do maciço com placas de recalque e marcos superficiais;
- ✓ Implantação de sistema de monitoramento de águas superficiais, subterrâneas e percolados.

A intenção da prefeitura é fazer a remediação para poder transformar o local em um parque aberto à visitação.

Em relação ao lixiviado, ao invés de ser reativado o sistema de tratamento existente no aterro, tanque de retenção + geotube, está sendo construída a ETE Correios para realizar o tratamento combinado com esgoto sanitário. Santos (2010) e Nascentes (2013) estudaram essa técnica e concluíram que a diluição do lixiviado nas estações deve ser analisada para que estes não causem problemas na operação das ETEs.

3.2 COMPOSIÇÃO DOS LIXIVIADOS GERADOS

O lixiviado é o efluente líquido gerado no interior dos aterros ou lixões, que percola através da massa de resíduos sólidos e é resultante da água contida nos resíduos mais a água proveniente da precipitação, esse efluente possui características que dificultam o seu gerenciamento e principalmente o seu tratamento.

Segundo Christensen et al. (2001), o lixiviado pode conter quatro grupos de poluentes, são eles:

- Matéria Orgânica dissolvida: expressada por Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT); e compostos refratários, como ácidos fúlvicos e húmicos.
- Macrocomponentes inorgânicos: Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , NH_4^+ , Fe^{+2} , Mn^{+2} , SO_4^{2-} e HCO_3^- ;
- Metais pesados: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn;
- Compostos orgânicos xenobióticos (COXs) presentes em baixas concentrações, incluídos hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e compostos alifáticos clorados.

Outros componentes como boro, arsênio, bário, selênio, mercúrio e cobalto, são encontrados em concentrações muito baixas.

As concentrações desses poluentes dependem da quantidade de resíduos depositados no aterro. Na Tabela 1 podem ser observados os poluentes encontrados no lixiviado, com seu respectivo resíduo de origem e na Tabela 2 a quantidade de resíduos lançados nos aterros brasileiros no ano de 2011.

Tabela 1: Fontes dos íons encontrados no lixiviado

Íons	Fontes
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Material orgânico
Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Sn ²⁺	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas
Hg ²⁺ , Mn ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes
Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis)
As ³⁺ , Sb ³⁺ , Cr ^{x+}	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raio-X

Fonte: Adaptado de Segato (2000).

Os aterros brasileiros recebem 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.

Tabela 2: Composição física do resíduo brasileiro

MATERIAL	QUANTIDADE (t/ano)	%
Metais	1.610.499	2,9
Papel, Papelão e TetraPak	7.275.012	13,1
Plástico	7.497.149	13,5
Vidro	1.332.827	2,4
Matéria Orgânica	28.544.702	51,4
Outros	9.274.251	16,7
TOTAL	55.534.440	100

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. ABRELPE (2011).

As características do lixiviado mudam muito de aterro para aterro e também mudam em função da época do ano. O que justifica a necessidade de se realizarem diversas coletas ao longo do ano para se obter o perfil do lixiviado para o aterro estudado.

A Tabela 3 apresenta as características de alguns lixiviados gerados em aterros brasileiros e pode ser observado que estes possuem, em termos gerais,

elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO, nitrogênio, cor e íons cloreto.

Tabela 3: Composição dos lixiviados gerados em alguns aterros nacionais

ATERRO	pH	COR (UC)	DQO (mg/L)	CLORETO (mg/L)	NITROGÊNIO AMONICAL (mg/L)	IDADE * (ano)
Londrina (PR)			931 3.306		373 1.110	33
Morro do Céu (RJ)	7,5 - 8,5	1.148 6.200	685 1.913	247 5.727	677 1394	25
João Pessoa (PB)	8 - 8,6		3.2440 25.478		1.024 2.738	6
Belo Horizonte (MG)	8 - 8,6		1.504 3.089	1.432 3.857	527 1.716	21
Gramacho (RJ)	7,7 - 9,1	240 13.400	804 4.255	1904 5804	76 3.565	30
Gericinó (RJ)	7,4 - 9,0	302 9.500	672 2.592	767 24001	68 2.630	23
Muribeca (PE)	7,6 - 8,7	6.115 14.535	2.102 8.416	227 760	697 2.052	-
São Leopoldo (RS)	7 - 9		1.319 9.777		136 1.803	

*na época da referência. Fonte: adaptado de GOMES et al. (2009).

A Tabela 4 apresenta as características de alguns lixiviados internacionais, disponíveis em artigos publicados nos últimos dez anos, em relação ao pH, DQO e Nitrogênio Amoniacal, que demonstra que esses países também possuem lixiviado com elevada concentração de matéria orgânica, porém, em concentrações menores que as observadas nos aterros brasileiros. Em relação ao nitrogênio amoniacal, os aterros brasileiros possuem concentrações menores que as encontradas nos lixiviados de outros países.

Essa diferença se dá pela variação da composição dos resíduos depositados nos aterros. Segundo Pasquali (2012), em países com baixa renda, a quantidade de resíduos orgânicos varia de 50 a 80% do resíduo coletado; em países com renda média, este percentual varia de 20 a 65% e já nas regiões com população de renda alta, o percentual varia de 20 a 40%.

Contudo, mesmo com a grande variação nas características dos lixiviados, a concentração de matéria orgânica, é geralmente elevada em todos os aterros pesquisados.

Tabela 4: Composição dos lixiviados internacionais

ATERRO	pH	DQO (mg/L)	NITROGÊNIO AMONIACAL (mg/L)	FONTE
Wysieka - Polónia	7,84	1821	364	Kulikowska e Klimiuk (2008)
Shuangkou Town - China	8,6	2817	2000	Li et al. (2010)
La Zoreda Asturias - Espanha	8,3	18500 20000	2400-2540	Marañón et al. (2008)
Thessaloniki Greater	7,9	5350	940	Tatsi et al. (2003)
Wuhan - China	8,5 – 8,6	3424 3680	3424 - 3680	Zhang et al. (2012)
Madrid - Espanha	8,14	2414,17	540	Hermosilla et al. (2009)
Aterro municipal - Itália	8,2	10540	5210	Lopez et al. (2003)
Pulau Burung Landfill Site/ Malásia	8,5	2860	1400	Aghamohammadi et al. (2007)

Conforme Gomes et al. (2009), a maioria dos lixiviados possuem baixa biodegradabilidade (DBO/DQO <0,1) e isso pode ser relacionada à idade dos aterros, visto que aterros mais novos possuem a biodegradabilidade mais elevada, como pode ser observada na Tabela 5, que apresenta a composição do lixiviado de acordo com a classificação do aterro: jovem, intermediário ou estabilizado, segundo uma classificação americana.

Tabela 5: Classificação do aterro de acordo com a composição.

	CLASSIFICAÇÃO DO ATERRO		
	Jovem	Intermediário	Estabilizado
Idade	<5	5-10	>10
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO(mg/L)	>10.000	4.000-10.000	<4.000
DBO/DQO	0,5-1,0	0,1-0,5	<0,1
Nitrogênio Amoniacal(mg/L)	<400	-	>400

Adaptado de Foo e Hameed (2009).

Nos aterros jovens, o pH é baixo devido a produção de ácidos e a DQO é bem elevada devido a grande quantidade de matéria orgânica disponível. Em aterros estabilizados, a DQO é mais baixa, pois os compostos biodegradáveis já foram degradados. Isso explica também a queda da relação DBO/DQO. O aumento do pH ocorre devido ao consumo dos ácidos voláteis. As altas concentrações de nitrogênio amoniacal ocorrem devido à hidrólise e fermentação das frações nitrogenadas dos substratos biodegradáveis (SANTOS, 2010).

Porém, o lixiviado é um efluente tão complexo, que sua composição pode não ter relação nenhuma com a idade do aterro. Por isso, deve-se fazer uma associação das características com as fases de degradação (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) e considerar que todos os dias chegam resíduos novos ao aterro. Então, o lixiviado pode ser considerado o produto de uma mistura de diferentes resíduos em diferentes fases de degradação dos resíduos.

As quatro fases de degradação dos resíduos possuem as seguintes características: a fase de hidrólise possui curta duração e está associada com a disposição recente dos RSU e início do acúmulo de umidade no aterro; a acidogênese é caracterizada pela passagem do ambiente aeróbio para o anaeróbio; a fase acetogênica, conhecida como fase de formação de ácidos, é caracterizada pela redução do pH dos lixiviados para valores menores do que 6,5, devido aos ácidos produzidos; e a fase metanogênica, os microrganismos estritamente anaeróbios consomem os compostos orgânicos simples, e liberam o metano e o gás carbônico. Nessa fase, observa-se o aumento do pH, na medida em que os ácidos voláteis simples são consumidos (SANTOS, 2010).

Devido à necessidade de se ter tabelas com as características dos lixiviados brasileiros, Souto e Povinelli (2011) fizeram um levantamento da composição dos lixiviados em 40 aterros brasileiros nas fases ácida e metanogênica. As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados desse estudo e pode ser observado que os valores se cruzam. Isso se deve ao fato de que todo o dia tem resíduo novo, o que provoca essa grande elasticidade da faixa de concentração de cada parâmetro.

Tabela 6: Características dos lixiviados na fase ácida

Variável	Mínimo	Máximo
pH	4,4	8,4
DBO	1	55.000
DQO	90	100.000
Cloreto	275	4.700
Nitrogênio Amoniacal	0,07	2.000

Adaptado Souto e Povinelli (2011).

Tabela 7: Características dos lixiviados na fase metanogênica.

Variável	Mínimo	Máximo
pH	5,9	9,2
DBO	3	17.200
DQO	20	35.000
Cloreto	20	6.900
Nitrogênio Amoniacal	0,03	3.000

Adaptado Souto e Povinelli (2011).

A composição tóxica e recalcitrante do lixiviado dificulta seu gerenciamento e torna a gestão de resíduos sólidos urbanos mais complicada em todo o mundo. O lançamento do lixiviado no solo ou diretamente nos recursos hídricos pode causar sérios impactos ambientais (SANTOS, 2010).

Volta Redonda compõe a bacia do Rio Paraíba do Sul e se localiza na região do Médio Paraíba do Sul. A Tabela 8 mostra os valores de DBO, em termos de carga, do lixiviado gerado nos municípios que compõem a sub-bacia do Médio Paraíba do Sul e pode ser observado que Volta Redonda é o município que possui a maior carga de DBO gerada. Isso é devido, provavelmente, ao fato de essa ser a cidade que possui o maior número de habitantes da região e conseqüentemente produzir maior quantidade de resíduo.

Tabela 8: Concentração da DBO dos lixiviados dos municípios do Médio Paraíba do Sul.

Município	Quant. de resíduo Produzido (ton/d)	DBO do lixiviado (kg DBO/d)
Barra do Piraí	55	144
Barra Mansa	159	1.556
Com. Levy Gasparian	4	24
Itatiaia	17	135
Mendes	9	10
Miguel Pereira	13	104
Paraíba do Sul	22	194
Paty de Alferes	9	42
Pinheiral	12	99
Piraí	13	25
Quatis	6	49
Resende	67	136
Rio Claro	7	3
Rio das Flores	3	6
Três Rios	45	403
Valença	37	186
Vassouras	14	124
Volta Redonda	232	1.870

Adaptado de COHIDRO (2014).

Comparando a carga orgânica (Kg DBO/dia) gerada em todas as sub-bacias do Rio Paraíba do Sul, pode ser observado na Figura 4, que a região do Médio Paraíba do Sul possui a maior concentração de DBO da bacia hidrográfica. Isso ocorre, devido esta ser a sub bacia com o maior número de municípios (19 cidades) e tem as cidades de Barra Mansa e Volta Redonda que são as mais populosas da região.

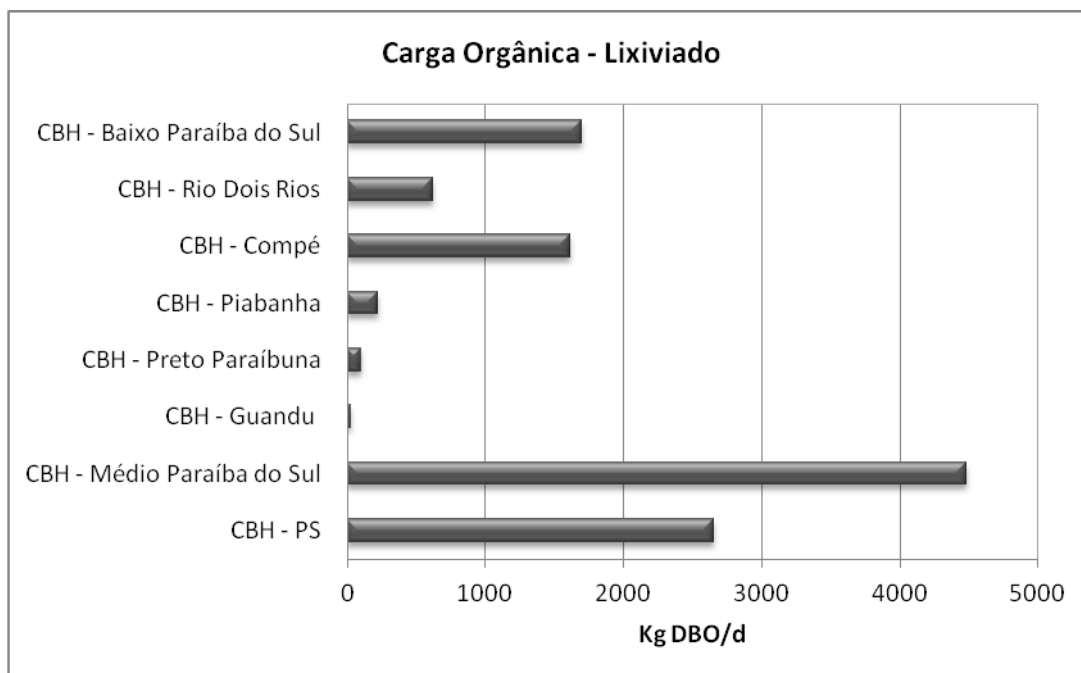


Figura 4: Concentração da DBO dos lixiviados da bacia do Rio Paraíba do Sul.

Fonte: Diagnóstico das fontes de poluição – COHIDRO, 2014.

3.3 TÉCNICAS UTILIZADAS COMO TRATAMENTO DE LIXIVIADO

Muitos pesquisadores estudaram diferentes técnicas de tratamento para o lixiviado. O que mais se tem utilizado nos aterros são os tratamentos biológicos, (MAIA, 2012) devido a fácil operação, por isso foram estudados tratamentos físico-químicos que pudessem apresentar resultados satisfatórios e que aumentassem a biodegradabilidade do lixiviado para que um tratamento biológico possa ser utilizado posteriormente.

3.3.1 Coagulação/Floculação

A Coagulação e Floculação têm a finalidade de transformar o material em suspensão em coloides, ou seja, agrupar as partículas suspensas e dissolvidas formando flocos que são removidos através de sedimentação (DEZOTTI, 2008).

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

Tabela 9: Alguns 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 ₃	700mg FeCl ₃ /L	44,8	Rodrigues (2004)
Biguaçu/SC	2920	FeCl ₃	1200mg FeCl ₃ /L	35	Castilhos Jr. et al (2006)
Gericinó/RJ	1981	FeCl ₃	500mg Fe ³⁺ /L	59,9	Ferreira e Campos (2014)
Londrina/PR	2264*	FeCl ₃	400 mg Fe ³⁺ /L	80,9	Felici et al (2011)
Porto Alegre/RS	4798	FeCl ₃	1102 mg Fe ³⁺ /L	63	Gewehr (2012)
Gramacho/RJ	2460	FeCl ₃	1400 mg FeCl ₃ /L	53	Cheibud et al (2010)
Nova Iguaçu/RJ	8560	FeCl ₃	950 mg FeCl ₃ /L	14	Telles (2010)
Shuangkou Town/ China	2817	FeCl ₃	600 mg FeCl ₃ /L	68	Li et al. (2010)
La Zoreda Asturias/ Espanha	19250	FeCl ₃	400 mg FeCl ₃ /L	28,1	Marañón et al (2008)
Thessaloniki Greater Area/ Grécia	5350	FeCl ₃	1500 mg FeCl ₃ /L	75	Tatsi et al. (2003)
Aterro municipal/ Eslovênia	1200	FeCl ₃	1000mg FeCl ₃ /L	34	Gotvajn 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 9, 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.

3.3.2 Adsorção em Carvão Ativado

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. 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 10 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 10: Alguns 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)
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

O uso de elevadas dosagens de carvão ativado em pó aumentam 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.

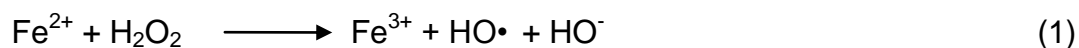
3.3.3 Processos Oxidativos Avançados

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).

Essa técnica é baseada na formação de radicais hidroxilas (HO•). 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 (H₂O₂), catalisado por íons ferrosos, gerando radicais hidroxilas (reação 1). O radical HO• 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 11 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 11: Alguns trabalhos publicados nos últimos 10 anos a respeito da aplicação dos Processos Oxidativos Avançados – Fenton.

Remoção da DQO (mg/L)						
ATERRO	DQO BRUTO (mg/L)	Razão Fe ²⁺ /H ₂ 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)
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

3.3.4 Outros Sistemas de Tratamento

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da remoção de DBO e nitrogênio amoniacal de lixiviados, empregando as técnicas de tratamento que foram estudadas pelos pesquisadores do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB, Edital 4 (Castilhos Jr. et al., 2006) e Edital 5 (Gomes et al., 2009), que avaliaram diversos tipos de tratamentos biológicos em lixiviados brasileiros.

Tabela 12: Resultados obtidos nos sistemas de tratamento estudados pelos editais 4 e 5 do PROSAB.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO					
Parâmetro	Efluente Bruto (mg/L)	Remoção (%) ou concentração no efluente tratado (mg/L)			
		Lagoa anaeróbia	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação	
DBO	454	(37%)	(53%)	(69%)	
N-NH ₃	1246	711	313	71	
FILTRO BIOLÓGICO AERÓBIO					
Parâmetro	Efluente Bruto (mg/L)	Remoção (%) ou concentração no efluente tratado (mg/L)			
		Filtro Bambu		Filtro de Brita	
DBO	291,60	55 – 24%		44 – 21%	
N-NH ₃	1116	714,24 a 1004,4		323,64 a 892,80	
FILTRO BIOLÓGICO ANAERÓBIO					
Parâmetro	Efluente Bruto (mg/L)	Remoção (%) ou concentração no efluente tratado (mg/L)			
		Filtro com Blocos de Concreto c/ lixiviado novo		Filtro com Rachão c/ lixiviado novo	
DBO	3600	450 (87,5%)		450 (87,5%)	
PROCESSO ARRASTE DE AMÔNIA					
Parâmetro	Efluente Bruto (mg/L)	Concentração no efluente tratado (mg/L)			
		Torre com recheio de brita nº4	Reator de fluxo pistonado	Reator de chicanas	Arraste precedido de precipitação química
N-NH ₃	1309 - 1500	5	51	289,8	2127 – 2346
WETLANDS					
Parâmetro	Efluente Bruto (mg/L)	Remoção (%)			
DBO	15 - 425	23 - 74%			

No caso dos tratamento atenderem aos padrões de lançamento da Resolução 430/2011 do CONAMA, os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões

definidos em seu Artigo 16, como por exemplo pH entre 5 e 9, Nitrogênio Amoniacal Total no máximo 20mg/L e remoção mínima de 60% da DBO.

Os resultados evidenciam que tratamentos biológicos não são suficientes no tratamento de grande parte dos lixiviados de aterros brasileiros, demandando a associação de processos físico-químicos como pré ou pós-tratamento para se conseguir enquadramento dentro do que é exigido pela legislação.

Na Resolução 430/2011 do CONAMA, artigo 21, parágrafo segundo dispõe sobre o lançamento de lixiviados em ETEs, não exigindo o controle da concentração de Nitrogênio Amoniacal, o que pode causar a tendência do lançamento desse efluente nas estações.

Santos (2010) e Nascentes (2013) avaliaram o lançamento do lixiviado junto ao afluente da ETE, buscando um efluente tratado capaz de atender às exigências legais. É uma alternativa adotada de forma a reduzir os custos de operação dos aterros.

A primeira autora utilizou diluição do lixiviado no esgoto doméstico a ser tratado por lagoas em duas linhas de tratamento, uma com Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação + diluição do lixiviado do Aterro de Gramacho/RJ e outra com Lagoa Aerada + Lagoa de Sedimentação + diluição do lixiviado do CTR de Gericinó/RJ, em 5 fases diferentes, e razão de diluição de 2%, 0,5% 0,02%. Os melhores resultados foram obtidos em utilizando um razão de diluição igual a 0,02% de lixiviado.

O segundo autor utilizou tratamento combinado de lixiviado e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados, e mistura de lixiviado no esgoto de 2% e 3%. Seus resultados demonstraram que essa técnica pode ser uma alternativa plenamente viável para o tratamento do lixiviado para misturas lixiviado/esgoto de até 3%.

Os resultados obtidos pelos autores demonstram que essa técnica apresenta boa eficiência, porém as condições de diluição devem ser avaliadas para cada lixiviado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As tecnologias utilizadas como tratamento do lixiviado do aterro controlado de Volta Redonda, avaliadas nesse trabalho foram: Coagulação/Floculação, utilizando como coagulante o cloreto férrico (FeCl_3), adsorção com carvão ativado em pó (CAP) e Reação de Fenton e após todos os tratamentos foram executados testes de biodegradabilidade aeróbia em cada um dos efluentes. O fluxograma da Figura 5 demonstra as seqüências de tratamento estudadas.

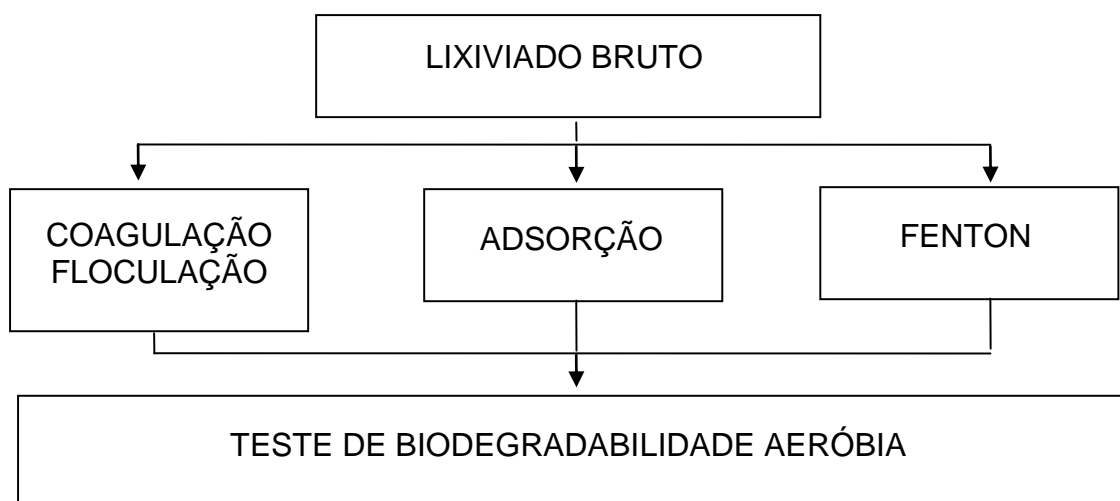


Figura 5: Metodologia de tratamento do lixiviado

4.1 COLETA DO EFLUENTE

Amostras de lixiviado foram coletadas no tanque de recepção do lixão, sempre no mesmo ponto e foram realizadas em diferentes épocas do ano, o que possibilitou avaliar as mudanças nas características do lixiviado. A Figura 6 mostra o tanque de recepção em dezembro de 2011, quando esse atingiu o volume máximo e na Figura 7, o tanque em fevereiro de 2014, época de grande estiagem no município, com o nível mais baixo.



Figura 6: Tanque de recepção de lixiviado em dezembro de 2011.



Figura 7: Tanque de recepção de lixiviado em fevereiro de 2014.

O efluente foi caracterizado, segundo os parâmetros: pH, cloreto, DQO, DBO, COT, Absorbância a 254nm e Cor, segundo metodologia constante no Standard Methods, (APHA, 2005).

4.2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

O processo de coagulação/floculação foi realizado em duas etapas. Em primeiro lugar, para definir o pH ótimo, foi fixado o volume de 300 ml de lixiviado, concentração do coagulante 200 mg FeCl₃/L variou-se o pH a fim de encontrar o que apresentava melhor eficiência de remoção de DQO e a Redução da Absorbância a 254nm. Encontrado o pH ótimo, este foi mantido constante, enquanto se variou a concentração de cloreto férrico avaliando os mesmos parâmetros. Na Tabela 13, estão apresentadas as variações de pH e as concentrações do coagulante avaliadas. Todos os ensaios foram realizados no Jar Test (Nova Ética), como mostra a Figura 8, a uma rotação de 150 rpm pelo tempo de 1 minuto durante a mistura rápida e a 20 minutos durante a mistura lenta a 20 rpm.

Tabela 13: Variáveis e concentrações avaliadas nos ensaios de coagulação/floculação

Etapa 1 Variação do pH		Etapa 2 Variação da concentração de coagulante	
pH	Concentração de Coagulante mg FeCl ₃ /L	Concentração de Coagulante mg FeCl ₃ /L	pH
4	200	100	Obtido na etapa 1
5		200	
6		300	
7		400	
8		500	
9		600	



Figura 8: Ensaio de Coagulação/Floculação.

4.3 ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO

Foi utilizado carvão em pó da marca Carbomafra, (Tipo: 117 CB AS nº40), de origem vegetal, fabricação nacional. A metodologia do tratamento utilizada foi adaptada de Maia (2012), onde se variaram as concentrações de carvão em 0,1; 0,4; 0,7; 1,0; 3,0; 5,0 g/L, deixando em contato por 24 horas em constante agitação no shaker incubadora a 25°C. Após as 24 horas, as amostras foram filtradas e feitas análises de COT, DQO e Abs 254nm.

4.4 REATIVO DE FENTON

Foram fixadas, inicialmente, as relações DQO lixiviado bruto: H_2O_2 em 1/1, 1/2 e 1/5. Para cada relação, foram utilizadas diferentes relações de Fe^{+2}/H_2O_2 : 1/3, 1/5 e 1/10. Na Tabela 14 estão ilustrados os valores das dosagens de peróxido utilizadas.

Tabela 14: Condições utilizadas nos testes de Fenton.

DQO/H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ (mg/L)	Relação Fe/H ₂ O ₂	Fe ⁺² (mg/L)
1/1	2023	1/3	674,33
		1/5	404,60
		1/10	202,30
1/2	4046	1/3	1348,67
		1/5	809,20
		1/10	404,60
1/5	10.115	1/3	3371,67
		1/5	2023,0
		1/10	1011,50

A Figura 9 mostra a execução do experimento que ficou sob agitação por 2 horas e com o pH controlado em 3,0.



Figura 9: Execução do Teste de Fenton

Após as duas horas, as amostras foram retiradas, alcalinizadas e decantadas para análise. O teor de peróxido residual foi analisado através da metodologia colorimétrica de reação com metavanadato de amônio, que gera um composto (peroxivanádio) de cor rosa, sendo identificado por espectrofotometria a 446nm (NOGUEIRA et al., 2005).

4.5 TESTES DE BIODEGRADABILIDADE AERÓBIA

A metodologia utilizada para o teste de biodegradabilidade aeróbia foi Método De Zahn-Wellens, adaptada de Lange (2012), e consiste em analisar a biodegradabilidade de um determinado efluente. Essa análise é importante para que se evitem problemas como a baixa eficiência do processo e os altos custos de manutenção no sistema de tratamento biológico a ser implantado.

Este método é conduzido pela inserção de uma determinada concentração de microrganismos aeróbios ao efluente, sendo necessária a presença constante de oxigênio dissolvido no meio, o que facilita a presença de bactérias aeróbias. Neste sistema é necessária, também, a ausência de luminosidade, a adição de meio mineral, preparado com soluções contendo: KH_2PO_4 ; K_2HPO_4 ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NH_4Cl , CaCl_2 ; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e água deionizada, e o controle do pH em uma faixa de 6,5 a 8,0, os quais são primordiais para a atividade biológica aeróbia (LANGE, 2012).

Foram utilizados biorreatores (Erlenmeyer de 2 L) que continham: 500mL de meio mineral, uma certa quantidade de efluente que atingisse uma DQO de 1.000mg/L e um volume específico de lodo de ETE para atingir uma concentração de 4,0g/L de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV). Para a manutenção constante de oxigênio dissolvido no meio, foram utilizadas bombas de aquário com difusores de ar; para o bloqueio da luz foi utilizado papel laminado envolta dos Erlenmeyers; e para o controle de pH, foram utilizadas soluções de NaOH (40g/L) e H_2SO_4 (50g/L) (LANGE, 2012).

Segundo a metodologia de Lange (2012), para o preparo do meio mineral foram utilizados:

- 10mL da solução contendo: KH_2PO_4 ; K_2HPO_4 ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e NH_4Cl
- 1mL da solução contendo: CaCl_2 e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 1mL da solução contendo: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 1mL da solução contendo: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 800mL de água deionizada

Na quantificação da biodegradabilidade foi considerado como método de análise a DQO por se caracterizar como rápida e simples. As análises foram feitas com uma frequência de duas vezes por semana durante 29 dias, sendo que, no primeiro dia foi retirada a primeira amostra com 3 horas e 30 minutos de operação e, também, foram realizadas nos dois últimos dias (28º e 29º) respectivamente. Para a preparação das amostras, foram retirados 10mL de cada reator, as quais foram filtradas em membranas de 0,45µm com a utilização de bomba de vácuo. O filtrado era, então, utilizado para a análise de DQO.

Segundo Lange (2012), para se calcular a degradação em um determinado tempo t , deve-se utilizar a equação 3:

$$Dt = 1 - \left[\frac{C_t - C_B}{C_A - C_{BA}} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

Dt = degradação percentual no tempo t ; t (dias)

C_A = concentração (em mg/L) de DQO do teste com efluente após 3h ± 30min de incubação;

C_t = concentração (em mg/L) de DQO do teste com efluente no tempo t ;

C_{BA} = concentração (em mg/L) de DQO do branco após 3h ± 30min de incubação e;

C_B = concentração (em mg/L) de DQO do branco no tempo t .

Os testes de biodegradabilidade (Figura 10) foram realizados em duplicata, e conduzidos em biorreatores alimentados da seguinte forma:

- Lixiviado bruto + lodo;
- Lixiviado tratado por Coagulação/Floculação + lodo;
- Lixiviado tratado por Adsorção em Carvão Ativado + lodo;

- Lixiviado tratado por Fenton + lodo;
- Branco (somente meio mineral + lodo);
- Solução de glicose com DQO equivalente a 1000 mg/L + lodo.

O branco foi utilizado para descartar possíveis contribuições que o lodo e o meio mineral possam gerar no sistema reacional e a solução de glicose foi utilizada para servir como controle do lodo, ou seja, para saber se os microorganismos estavam degradando da matéria orgânica corretamente.



Figura 10: Teste de Biodegradabilidade em execução.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO

Até o início das coletas e caracterização das amostras a prefeitura só tinha realizado uma única caracterização do lixiviado, realizada em 2009, ou seja, antes da transformação de lixão para aterro controlado e isso não permitia fazer nenhum tipo de avaliação do efluente, por isso a necessidade de se fazer várias coletas para poder acompanhar as mudanças das características desse efluente.

Considerando que um dos objetivos do trabalho era avaliar as características físico-químicas do lixiviado, um perfil do efluente estudado foi feito através de 7 coletas realizadas ao longo de dois anos de trabalho.

Os resultados de caracterização obtidos através das amostras de lixiviado bruto coletadas no tanque de retenção do aterro controlado de Volta Redonda (RJ) em diferentes épocas do ano, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Caracterização do Lixiviado bruto de Volta Redonda (RJ)

Parâmetros	Unid	Resultados							
		21/03/2013	22/08/2013	09/01/2014	23/01/2014	20/02/2014	20/03/2014	29/05/2014	
pH		8,4	8,5	8,2	8,6	8,5	8,2	8,2	
Cloroito	mg/L	791	1641	1377	1321	2001	1732	1608	
DQO	mg/L	550	7400	2023	1920	2836	5875	3041	
Cor	Pt/Co	6800	5700	6783	6416	6300	5083	6504	
Abs 254			17,9	16,5	15,1	16,5	46,06	25,16	
COT	mg/L	154	506		444,8	486,2	751,5	706,5	
DBO	mg/L	130							
Clima		Chuvoso	Quente	Quente	Chuvoso	Quente	Quente	Quente	

As coletas realizadas nos dias 21/03/2013 e 23/01/2014 foram feitas em épocas de grande pluviosidade do município. De acordo com dados obtidos no BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, a pluviosidade nos dias anteriores, 19 e 20/03 somam 9,2mm e no dia 22/03, 5,4mm o que fez com que o lixiviado se encontrasse diluído e apresentasse baixas concentrações em quase todos os parâmetros analisados.

As coletas feitas no ano de 2014 apresentaram valores altos principalmente de cor e DQO devido à baixa incidência de chuvas no município durante o verão, tornando o efluente mais concentrado.

Segundo a classificação dos aterros feita por Foo; Hameed (2009), Tabela 5, pelas características do lixiviado, o aterro controlado de Volta Redonda pode ser classificado como intermediário, porém essa classificação, em relação à idade do aterro, não pode ser aplicada a este caso, pois o aterro possui mais de 22 anos, e para essa classificação a idade máxima do aterro é de 10 anos, isso mostra que, neste caso, a composição do lixiviado não tem relação com a idade do aterro.

Em relação às fases do aterro estudadas por Souto e Povinelli (2011), o aterro pode ser enquadrado nas fases ácida e metanogênica, pois os 40 aterros estudados podem estar em condições diferentes, como por exemplo, esses estavam ainda em operação, o que causa a grande variação dos parâmetros que no caso de Volta Redonda não ocorre pois este está encerrado há dois anos.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 16, nota-se que este lixiviado apresenta características de um efluente de difícil tratamento, em especial, devido à alta concentração de matéria orgânica recalcitrante, devido aos elevados valores de DQO e baixa biodegradabilidade, representada pelo baixo valor da relação DBO/DQO encontrado na primeira coleta, que é igual a 0,23 e isso indica que o efluente precisaria passar por algum pré-tratamento antes de ser tratado biologicamente.

Segundo Costa (2010), estas características confirmam que o lixiviado de Volta Redonda é oriundo de resíduos mais estabilizados, pois nestas condições, há a presença de ácidos fúlvicos e húmicos, compostos de difícil degradação biológica. Esses ácidos contribuem para a coloração escura do lixiviado, que pode ser

observada em todas as amostras e é confirmada pelos valores elevados de cor e absorvância 254 nm. Esse resultado já era esperado visto que o aterro encontra-se fechado desde 2012 e que o lixiviado que entra no tanque de retenção é oriundo de células mais antigas, e isso também pode ser observado pelo pH levemente básico, superior a 8 em todas as coletas.

Observando-se as características do lixiviado produzido no aterro controlado de Volta Redonda, verifica-se que o mesmo se trata de um efluente estabilizado e recalitrante, o que comprova que os tratamentos físico-químicos são os mais indicados para o lixiviado estudado.

5.2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

A Tabela 16 ilustra os resultados obtidos durante a otimização do pH.

Tabela 16: Resultados dos testes de variação do pH para os ensaios de coagulação/floculação com FeCl₃ (mistura rápida, 150 rpm por 1 minuto / mistura lenta, 20 rpm por 20 minutos)

pH	Concentração de Coagulante (mg FeCl ₃ /L)	Abs 254nm	DQO (mg/L)	Redução da Abs 254 nm (%)	Eficiência de remoção de DQO (%)
8,5	BRUTO	17,9	1031	--	--
4	200	0,4781	756	97,3	26,7
5		0,5820	858	96,7	16,7
6		0,5482	906	96,9	12,1
7		0,6656	921	96,3	10,6
8		0,8239	913	95,4	11,5
9		0,8232	917	95,4	11,1

Na primeira etapa, o pH igual a 4 foi a condição que apresentou a maior eficiência na remoção da DQO e abs 254nm. Dessa maneira, esse valor de pH foi escolhido para etapa seguinte.

A Tabela 17 ilustra os resultados obtidos durante a otimização da dosagem de coagulante em pH igual a 4, obtido na etapa anterior.

Tabela 17: Resultados da variação da concentração do coagulante para os ensaios de coagulação/floculação com FeCl₃ (mistura rápida, 150rpm por 1 minuto / mistura lenta, 20 rpm por 20 minutos)

Conc. Coagulante (mg/L)	pH inicial	pH final	Abs 254nm	DQO (mg/L)	Redução da Abs 254 nm (%)	Eficiência de remoção de DQO (%)
BRUTO	8,5	--	17,9	1031	--	--
100	4	3,06	0,4781	898	97,3	12,9
200	4	2,92	0,5820	752	96,7	27,1
300	4	2,67	0,5482	795	96,9	22,9
400	4	2,58	0,6656	830	96,3	19,5
500	4	2,48	0,8239	849	95,4	17,7
600	4	2,47	0,8232	728	95,4	29,4

A concentração de cloreto férrico que apresentou a maior eficiência de remoção em relação à DQO foi 600 mg/L e a maior remoção de absorvância 254m foi obtida utilizando 100 mg/L de coagulante. Sendo assim, tentando conciliar os parâmetros avaliados, as concentrações de 200 e 300 mg/L de coagulante foram eleitas como as melhores.

A Tabela 18, ilustra os resultados de COT para as amostras dos experimentos realizados em pH igual a 4 e nas concentrações de 200 e 300 mg/L de FeCl₃.

Tabela 18: Resultados das análises de COT para o lixiviado bruto e os tratados em pH igual a 4 e nas concentrações de 200 mg/L e 300 mg/L de coagulante.

Amostra	COT(mg/L)	Remoção(%)
Lixiviado bruto	506	-
Lixiviado tratado: 200 mg/L e pH=4	309	38,9
Lixiviado tratado: 300 mg/L e pH=4	182	64

Na Tabela 18, pode ser observado que a concentração de 300mg/L de FeCl₃, gerou melhor resultados em termos de COT. Na tabela anterior o teste com

200 mgFeCl₃/L obteve melhor redução da DQO, porém, o teste com 300 mgFeCl₃/L obteve menor absorvância, e comprovado posteriormente através do COT que é um parâmetro menos sujeito a interferências do que a DQO.

A Figura 11 ilustra fotos dos testes e as condições de coagulação no pH igual a 4 e nas concentrações de 200 mgFeCl₃/L, 300 mgFeCl₃/L e o lixiviado bruto.

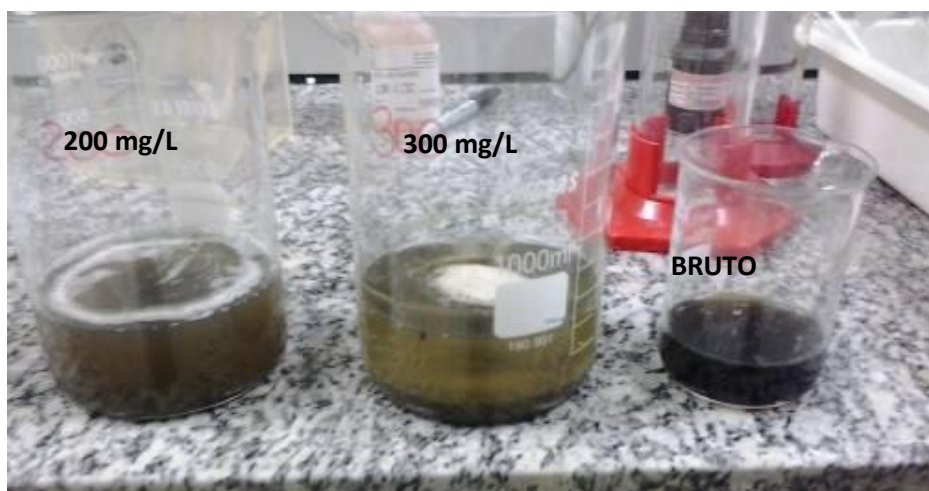


Figura 11: Aspecto visual das amostras do lixiviado bruto e dos tratados

Marañón (2008), utilizando 400 mgFeCl₃/L, obteve uma eficiência de remoção de DQO de 28,1%, valor próximo aos encontrados nesse estudo, isso ocorre provavelmente devido a operação do aterro, pois o aterro espanhol operava, assim como o de Volta Redonda, a 22 anos, e as amostras também foram coletadas em tanques de estocagem de lixiviado, por isso as características dos lixiviados podem ser semelhantes levando a resultados muito parecidos.

De acordo com os trabalhos citados na Tabela 9, verificou-se que 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.

5.3 ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

A fim de remover a matéria orgânica recalcitrante do lixiviado bruto, avaliou-se a eficiência da adsorção em carvão ativado em pó. Nos testes realizados, foram utilizadas 7 diferentes concentrações do carvão ativado em contato por 24 horas, com um volume fixo de efluente. A Tabela 19 ilustra os resultados dos ensaios de adsorção usando o carvão ativado em pó em diferentes concentrações.

Tabela 19: Resultados dos testes de adsorção com carvão ativado em pó após contato por 24 horas

Conc. Carvão (g/L)	DQO (mg/L)	Eficiência de remoção de DQO (%)
Bruto	2600	--
0,1	1740	33,1
0,4	1404	46,0
0,7	1309	49,7
1,0	1304	49,8
3,0	976	62,5
5,0	805	69,0

Em geral, os ensaios com carvão ativado mostraram significativas eficiências de remoção, porém as melhores foram encontradas utilizando 3 e 5 g/L de carvão em pó apresentaram as melhores eficiências na remoção da DQO.

Aghamohammadi et al. (2007) e Kargi; Uygur (2004) utilizaram 3g/L e 5g/L, respectivamente, de carvão ativado em pó (de diferentes procedências) para tratar o lixiviado e ambos encontraram uma eficiência de remoção de 49% de DQO o que comprova que o uso do carvão em pó para o tratamento do lixiviado possui resultados promissores para a remoção de matéria orgânica desse efluente.

De acordo com os trabalhos citados na Tabela 10, 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.

5.4 REATIVO DE FENTON

Para a avaliação da remoção da matéria orgânica, inicialmente foram estabelecidas as relações DQO/H₂O₂ e depois as relações Fe/H₂O₂. O tempo de reação e o pH foram previamente estabelecidos como 2 e 3 horas, respectivamente. A Tabela 20 ilustra os resultados de eficiência de remoção da DQO para os experimentos utilizando o Reativo de Fenton.

Tabela 20: Resultados dos ensaios do Reativo de Fenton utilizando as relações DQO/H₂O₂ iguais a 1/1, 1/2 e 1/5 por 120 minutos.

DQO BRUTO (mg/L)	Relação DQO/H ₂ O ₂	Relação Fe/H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	H ₂ O ₂ residual (mg/L)	DQO corrigida do lixiviado tratado (mg/L)	Eficiência de remoção de DQO (%)
2023	1/1	1/3	2023	674,33	78	436	78,4
		1/5		404,60	190	581	71,3
		1/10		202,30	570	847	58,1
	1/2	1/3	4046	1348,67	53	358	82,3
		1/5		809,20	523	521	74,2
		1/10		404,60	597	484	76,0
1702	1/5	1/3	10.115	3371,67	68	343	79,8
		1/5		2023,0	452	340	80,0
		1/10		1011,50	990	381	77,6

Conforme pode ser observado na Tabela 21, os parâmetros monitorados nessa etapa foram a concentração peróxido de hidrogênio residual e a DQO. O peróxido de hidrogênio residual é monitorado para acompanhar o seu consumo e corrigir a DQO.

As porcentagens de remoção da DQO foram todas maiores que 50% e percebe-se que quanto menor a quantidade de ferro na reação, menor a remoção de DQO e menor as concentrações de peróxido residual no efluente, isso só acontece porque o ferro é o catalisador responsável pela formação dos radicais hidroxila, responsáveis pela oxidação da matéria orgânica.

Observando-se os resultados pode ser visto que quando se aumenta a relação DQO/H₂O₂ pra 1/2 e 1/5, aumentam-se as quantidades de reagentes mas não foi obtido aumento na eficiência na mesma proporção. Por isso, para confirmar

os resultados anteriores foi utilizada uma nova amostra de lixiviado, e realizados ensaios utilizando a relação DQO/H₂O₂ igual a 1/1 e 1/0,5. Os resultados podem ser observados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados dos ensaios do Reativo de Fenton utilizando as relações DQO/H₂O₂ iguais a 1/1, 1/0,5 por 120 minutos.

DQO BRUTO (mg/L)	Relação DQO/H ₂ O ₂	Relação Fe/H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	H ₂ O ₂ residual (mg/L)	DQO corrigida do lixiviado tratado (mg/L)	Eficiência de remoção de DQO (%)
2490	1/1	1/3	2490	945,56	181	655,09	73,7%
	1/0,5	1/3	1418,34	472,78	146	896,49	64,0%

Comparando os dois testes feitos para relação DQO/H₂O₂ igual a 1/1 pode-se observar que o segundo teste teve elevada concentração de peróxido residual, diferentemente do obtido no primeiro ensaio. Os resultados obtidos para essa condição foram bem similares ao ensaio anterior, porém para a menor concentração de peróxido, a remoção de DQO foi 10% menor.

Os teste feitos por Hermosilla et al. (2009) utilizando a razão Fe²⁺/H₂O₂ de 1/1,5 , tempo de reação de 120 minutos e concentrações semelhantes de DQO do lixiviado bruto, encontrou uma eficiência de 75% se assemelhando aos resultados obtidos para o lixiviado de Volta Redonda (nas relações de DQO/H₂O₂ igual a 1/1 e 1/0,5).

Outros autores, citados na Tabela 11, obtiveram em suas pesquisas eficiências maiores que 80%, porém utilizaram relações Fe/H₂O₂ maiores, como por exemplo, Queiroz (2010) que obteve eficiência de remoção de DQO igual a 83,2 % utilizando a relação Fe²⁺/H₂O₂ igual a 1/7,5 com tempo de reação relativamente baixo, 30 minutos, se comparados com os utilizados no presente trabalho.

5.5 TESTES DE BIODEGRADABILIDADE AERÓBIA

Para avaliar se os tratamentos pesquisados tiveram efeito na biodegradabilidade do lixiviado, foram realizados testes de biodegradabilidade aeróbia para o efluente tratado por Coagulação/Floculação, Adsorção em Carvão Ativado e Fenton.

5.5.1 Coagulação/Floculação

Os ensaios de biodegradabilidade aeróbia para o lixiviado bruto e para o lixiviado tratado pela coagulação/floculação na condição de pH 4 e 300 mg/L de FeCl_3 foram realizados em 29 dias. Na Figura 12 podem ser observados os resultados da biodegradabilidade dos efluentes após o período de execução do teste.

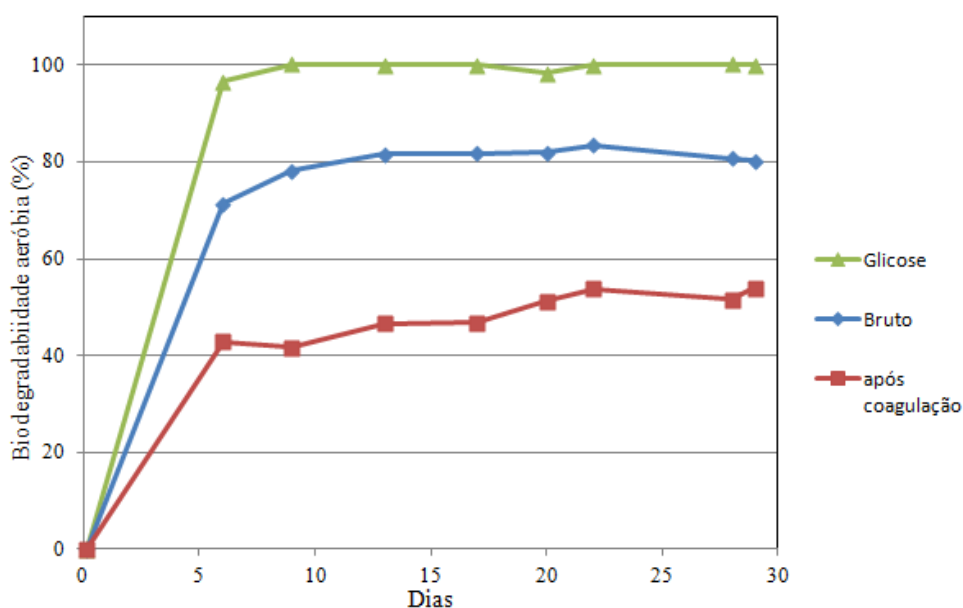


Figura 12: Resultados de ensaio de biodegradabilidade do efluente tratado por coagulação/floculação.

Como pode ser observado na Figura 12, o lixiviado bruto apresenta uma boa biodegradabilidade (80%), superior ao lixiviado pré-tratado (54%). Isso demonstra

que a amostra de lixiviado bruto se apresentou muito mais biodegradável que o efluente do processo de coagulação/floculação.

5.5.2 Adsorção em Carvão Ativado

Os ensaios de biodegradabilidade aeróbia foram executados no lixiviado bruto e nos efluentes tratados com por adsorção, utilizando 3 e 5 g/L de carvão em pó.

Na Figura 13, estão os resultados do ensaio após os 29 dias de execução.

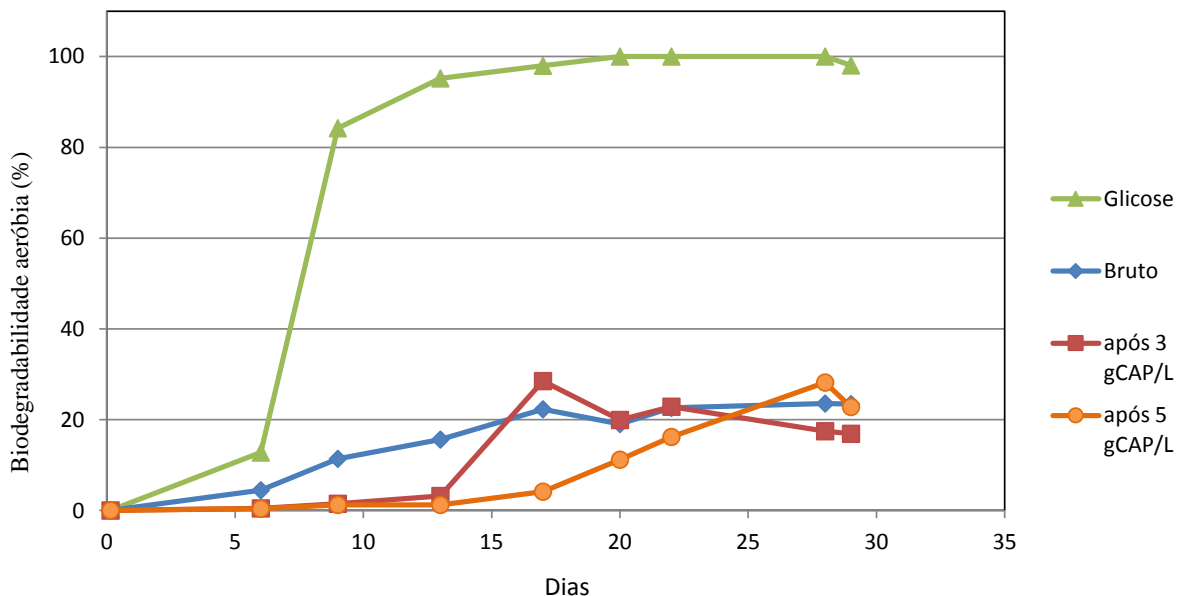


Figura 13: Resultados do ensaio de Biodegradabilidade aeróbia do efluente tratado por adsorção em CAP.

A partir do 13º dia, a biodegradabilidade dos efluentes tratados começou a aumentar. A condição com concentração de 5g/L de carvão, gerou os melhores resultados. Ao fim do tratamento por adsorção removeu 69% da DQO, tendo obtido valores de biodegradabilidade próximos aos do lixiviado bruto (23%), o que comprova que o tratamento não alterou a biodegradabilidade do efluente, só fez com que os microorganismos levassem mais tempo para começar a degradá-lo,

diferentemente da amostra anterior (coagulação/floculação) onde o lixiviado bruto se mostrou mais biodegradável.

5.5.3 Reativo de Fenton

Os ensaios de biodegradabilidade aeróbia foram realizados com amostras de lixiviado bruto, glicose e a melhor condição do teste de tratabilidade usando Fenton (DQO/H₂O₂ de 1/1 e Fe/H₂O₂ de 1/3). A Figura 14 apresenta os resultados do ensaio de biodegradabilidade aeróbia do lixiviado tratado por fenton.

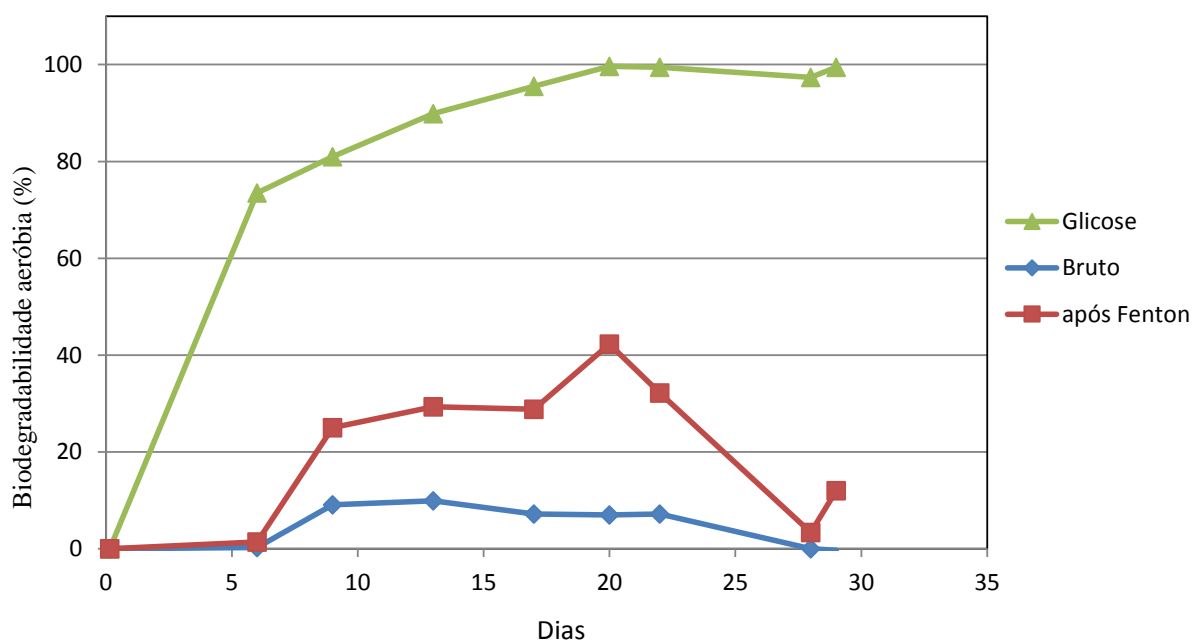


Figura 14: Resultados de ensaio de Biodegradabilidade aeróbia do efluente tratado por Fenton.

Como pode ser observado na Figura 14, o efluente tratado por Fenton teve resultado de biodegradabilidade um pouco maior que o lixiviado bruto. Pode ser visto que no 20º dia a biodegradabilidade, foi atingido o nível mais alto (42%) e depois houve um declínio chegando a 3% e depois voltou a subir para 12%, isso significa que até o 20º dia, os microorganismos degradaram normalmente o efluente tratado e após isso pode ter havido algum problema de operação, fazendo com que houvesse essa redução.

5.5.4. Resumo dos Resultados de Biodegradabilidade aeróbia

A Tabela 22 apresenta um resumo dos resultados obtidos com todos os ensaios de biodegradabilidade realizados.

Tabela 22. Resultados de biodegradabilidade aeróbia em 29 dias

Testes	Amostras	Biodegradabilidade aeróbia após 29 dias (%)
Amostra coletada dia 22/08/2013		
1	Lixiviado Bruto	80
	Lixiviado após coagulação/floculação (pH=4 e 300 mg FeCl ₃ /L)	54
Amostra coletada dia 20/03/2014		
2	Lixiviado Bruto	23
	Lixiviado após adsorção com 3 g CAP/L	17
	Lixiviado após adsorção com 5 g CAP/L)	23
Amostra coletada dia 29/05/2014		
3	Lixiviado Bruto	0
	Lixiviado após Reativo de Fenton (DQO/H ₂ O ₂ de 1/1 e Fe ⁺² /H ₂ O ₂ de 1/3)	12

Como pode ser observado na Tabela 22, o lixiviado bruto apresentou resultados diferentes no teste de biodegradabilidade, isso se deve ao fato de que para cada teste uma nova amostra era coletada, A amostra para o primeiro teste foi coletada depois de ter chovido no dia anterior e esse excesso de água pode ter elevado a biodegradabilidade da amostra. As amostra para o terceiro teste foi coletada em um dia muito seco, o tanque de retenção do lixão estava quase seco devido as retiradas para recirculação e perdas por evaporação, deixando o efluente mais concentrado.

5.6 PROPOSTA DE TRATAMENTO

Avaliando os resultados obtidos neste trabalho, são sugeridas duas vertentes de tratamento para o lixiviado gerado em Volta Redonda. A primeira seria utilizando os tratamentos avaliados como pré-tratamento para lançamento em ETEs. A segunda seria relacionada à construção de uma estação própria para tratamento de lixiviado.

5.6.1 Tratamento Combinado

Os resultados de remoção de DQO e redução da absorbância 254 nm mostraram que os três tratamentos realizados foram eficientes para eliminar uma parcela da matéria orgânica presente no lixiviado (23 a 78%). Assim, há uma diminuição do aporte orgânico na ETE, minimizando o impacto do cotratamento.

Para a escolha de uma das técnicas utilizadas como pré-tratamentos, é necessário fazer um levantamento de custos, assim como a que causará o menor impacto na operação da ETE. A Figura 15 ilustra um esquema do processo proposto.

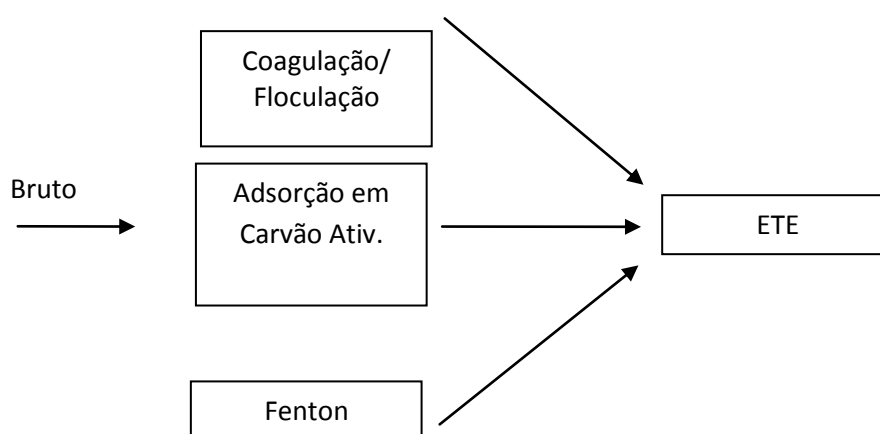


Figura 15: Esquema de tratamento combinado

Para o lançamento desse efluente tratado na ETE tem que ser avaliada a razão de diluição, além das características do efluente final, de modo a viabilizar o atendimento aos padrões estabelecidos pela legislação vigente.

5.6.2 Estação de Tratamento de Lixiviado

No caso de se instalar uma estação de tratamento de lixiviado e considerando que nenhum dos tratamentos aumentou a biodegradabilidade do lixiviado, é proposto que um dos tratamentos físico-químicos poderia ser utilizado como tratamento de polimento (terciário) para adequação do lixiviado tratado ao descarte (Figura 16).

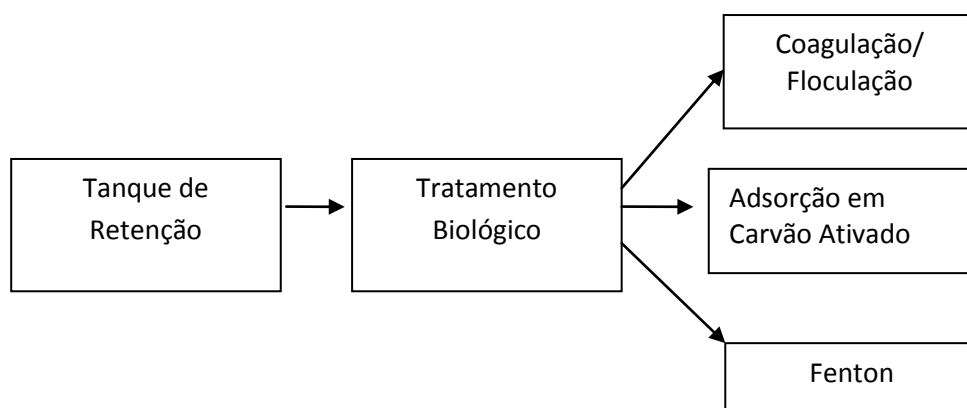


Figura 16: Esquema de tratamento em uma Estação de Tratamento de Lixiviado.

Ressalta-se que neste trabalho não foi realizado um estudo específico à respeito do nitrogênio amoniacal.

A estação poderá ser construída aproveitando o tanque de retenção já existente no aterro, em seguida um tratamento biológico, mais convencional e somado a uma das técnicas estudadas. Conforme as pesquisas desenvolvidas por Felici et al (2011), Kuroda et al.(2014) e Kargi;Pamukoglu(2004), que avaliaram essas técnicas como pós-tratamento de lixiviados tratados biologicamente, pode se verificar que esses obtiveram maiores eficiências de remoção da DQO.

6 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente trabalho foram:

- Ao todo foram coletadas sete amostras de lixiviado em diferentes épocas do ano no tanque de retenção do lixão de Volta Redonda, o que permitiu avaliar o comportamento da composição do líquido ao longo do tempo, ou seja em épocas de estiagem o lixiviado era mais concentrado, as concentrações dos parâmetros monitorados eram elevadas e em duas das coletas as amostras já apresentavam, valores mais reduzidos devido a chuvas ocorridas nos dias anteriores.
- Após definidas as condições ótimas de tratamento do lixiviado por coagulação floculação (pH=4 e 300 mg FeCl₃/L), obteve-se uma remoção de 22,9% da DQO e 64% do COT.
- Duas condições ótimas do processo de adsorção em carvão ativado em pó no tratamento do lixiviado foram estabelecidas, com 3 e 5 g/L de carvão e essas condições obtiveram eficiências de remoção da DQO de 62,5% e 69%, respectivamente.
- O Processo de Fenton foi o tratamento que apresentou as melhores porcentagens de remoção, obtendo eficiências de remoção entre 58,12 a 82,30%, sendo a escolhida como melhor condição a que utilizou as relações DQO/H₂O₂ igual a 1/1 e Fe/H₂O₂ igual 1/3 e obteve 78,42% de remoção, pois esta utilizou menor concentração de ferro e peróxido de hidrogênio.
- Os resultados dos testes de biodegradabilidade demonstram que os efluentes tratados possuem baixa biodegradabilidade não sendo indicado um tratamento biológico em sequencia, o mais indicado seria que esse efluente fosse cotratado em uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª edição, New York: APHA, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 184p. 2011.

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>> Acessado em 31/07/2014.

BAZAN, M.M.C.L; OLIVEIRA, F.J.P. **Projeto básico de remediação e encerramento do “lixão” de Volta Redonda**. 144f. Julho/2010.

BRASIL. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal. 2010.

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.

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.

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.

COHIDRO. Plano Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Plano de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. **Diagnostico das Fontes de Poluição**. RP 04. 2014.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **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. Brasília, DF.

CONTRERA, R. C. **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistemas de reatores anaeróbios e aeróbios operados em batelada sequencial**. 2008. 789 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

COSTA, C. S. **Estímulo ao descomissionamento do lixão da cidade de Volta Redonda – RJ através do comércio de créditos de carbono**. 2012. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

COSTA, V.C. **Associação de Tratamentos Físico-Químicos para Remoção de Matéria Orgânica e Cor de Chorume Estabilizado Produzido no Lixão da Cidade de Maceió/Al**. 2010. 82f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas. Alagoas, CE.

COTMAN, M.; GOTVAJN, A.Z. Comparison of different physic-chemical methods for the removal of toxicants lad fill leach ate. **Journal of Hazardous Materials**. v. 178. Slovenia. p. 208-305, 2010.

CHRISTENSEN, T.H. et al. Biogeochemistry of landfill leach ate plumes. **Applied Chemistry**. v. 16, Denmark, p. 659-618, 2001.

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.

FELICI, E.M. Remoção de dco e cor verdadeira de lixiviado por processo de coagulação-floculação-sedimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 26. **Anais...** ABES, 2011.

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.

FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. Na overview of landfill leach ate treatment via activated carbon adsorption process. **Journal of Hazardous Materials**. v. 171. Malaysia. p. 54-60, 2009.

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.

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.

GOTVANJN, A.Z.; TISLER,T.; KONCAN,J.Z. Comparison of different treatment strategies for industrial leach ate. **Journal of Hazardous Materials**. v. 162, Slovenia, p. 1446-1456, 2009.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

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.

HUR, J.M.; KIM,S.H. Combined adsorption and chemical precipitation process for pretreatment or post treatment of landfill leach ate. **Korean Journal Chemistry Engineering**. v. 17, Korea, p. 433-437, 2000.

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.

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.

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.

KULIKOWSKA, D.; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leach ate composition. **Bioresource Technology**. v. 99, Poland, p. 5981-5985, 2008.

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.

LANGE, L. C. et al. **Apostila de Metodologias para Caracterização Físico-química de Lixiviados de Aterros Sanitários: parâmetros coletivos não específicos**. 2012. 58p. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

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.

LAU, I.W.C. et al. Organic removal of anaerobic ally treated leach ate by fenton coagulation. **Journal of Environmental Engineering**. v.127, n°7, Hong Kong, p. 666-669, 2001.

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.

LIMA, L.M.Q. **Remediações de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia)** Editora Hemus. São Paulo. 2005. 283p.

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.

LOPEZ, A. et al. Fenton's pre-treatment of mature landfill leach ate. **Chemosphere**. v. 54, Italy, p. 1005-1010, 2004.

MACHADO, C.R.A. **Avaliação de Processo de Lodos Ativados combinado com Carvão Ativado em Pó no Tratamento de Efluente de Refinaria de Petróleo**. 2010, 117f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

MAIA, L.S. **Uso de carvão ativado em pó no tratamento biológico de lixiviado de aterro de resíduos**. 2012, 177f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

MARAÑÓN, E. et al. Coagulation-flocculation as a pretreatment processat a landfill leach ate nitrification-denitrification plant. **Journal of Hazardous Materials**. v. 156, Spain, p. 538-544, 2008.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment and Reuse**, 4th edition, McGraw-Hill, USA. 2003. 1877p.

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.

NASCENTES, A. L. **Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico**. 2013, 170f. Tese (Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

NOGUEIRA, R.F.P.; OLIVEIRA, M.C.; PATERLINI, W.C., Simple and fast spectrophotometric determination of H₂O₂ in photo-Fenton reactions using metavanadate. **Talanta**, v. 66, p. 86–91, 2005.

PALA, A.; ERDEN, G. Chemical Pretreatment of landfill leachate discharged into municipal Biological Treatment Systems. **Environmental Engineering Science**. v. 21. Turkey. p. 549-557, 2004.

PASQUALI, L. **Composição Gravimétrica de Resíduos Sólidos Recicláveis Domiciliares no Meio Rural de Chopinzinho – PR**. 2012, 66f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco.

PAULA, F. **Histórico do Lixão de Volta Redonda**. Prefeitura Municipal de Volta Redonda. 2012. 16f.

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.

RIVAS, F.J. et al. Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. **Journal of Hazardous Materials**. v. 116, Spain, p. 95-102, 2004.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução a Química Ambiental**. 2ª edição. Editora Bookman. Porto Alegre. 2009. 256p

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.

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.

SARAIVA, C. A.C. et al. **Tratabilidade do líquido percolado (Chorume) por Processos Oxidativos Avançados para implantação no aterro sanitário da cidade de Volta Redonda-RJ**. 2007. 72f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

SANTOS, A. S. P. **Aspectos Técnicos e Econômicos do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário com Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização**. 2010. 233f. Tese de Doutorado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

SEGATO, L. M. SILVA, C.L. Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. XXVII. **Anais**. ABES. 2000.

SOUTO, G.D.A.B.; POVINELLI, J. Tabelas de características típicas do lixiviado de aterros sanitários brasileiros: fases ácida e metanogênica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 26. **Anais...** ABES, 2011.

TATSI, A.A. et al. Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. **Chemosphere**. v. 53, Greece, p. 737-744, 2003.

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.

VERÍSSIMO, W. **Adequação do Projeto de Remediação do Vazadouro de Volta Redonda – RJ**. Relatório Técnico e Ambiental. Volta Redonda/RJ. 2013. 144p.

VIEIRA, L. A. **Avaliação para previsão do volume de lixiviado gerado em aterro sanitário: Um estudo piloto para cidade de volta redonda**. 2007. 65f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

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.

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.

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.