



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

JÉSSICA XAVIER DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LIXIVIADO DE CENTRAL
DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES
AGRÍCOLAS**

Seropédica - RJ

Julho, 2015

JÉSSICA XAVIER DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LIXIVIADO DE CENTRAL
DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES
AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadores: Dra. Dinara Grasiela Alves
Prof. Dr. Alexandre Lioi Nascentes

Seropédica - RJ
Julho, 2015

*Aos meus pais, Lucimar e Jorge,
por todo o amor.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por abençoar minha vida e por me guiar nos desafios enfrentados.

À minha enorme família, em especial minha mãe Lucimar, pelo amor incondicional e por todo o esforço despendido para que eu pudesse realizar esse sonho. Com o mesmo carinho, agradeço ao meu pai Jorge pela confiança e pelo incentivo ao estudo.

Às minhas queridas avós Maria, Margarida e Salvina por todo carinho e ensinamentos, e mesmo não estando mais entre nós, sempre serão minha fonte de inspiração para lutar.

Ao meu amigo e namorado Francisco, pelo companheirismo e pela cumplicidade que tornaram essa caminhada mais leve. Por todas as angústias e alegrias compartilhadas nesses anos de Rural, e pelo imensurável carinho dedicado, principalmente, nos momentos difíceis.

À minha orientadora Dra. Dinara Grasiela Alves por ter aceitado o convite e por ter sido tão solícita.

Ao meu orientador Dr. Alexandre Lioi Nascentes pela idealização do trabalho, pelo tempo dedicado e pela paciência em me conduzir nessa etapa.

Aos professores participantes da banca examinadora: Dr. Luiz Beja Moreira por todas as contribuições, Dra. Madelon Rodrigues Sá Braz pelas sugestões e pelos conselhos, Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva por me auxiliar durante toda a graduação e ter me recebido tão bem no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Dr. Conan Ayade Salvador pela solicitude.

Às colegas do Laboratório de Monitoramento Ambiental pelo auxílio nas análises de caracterização do lixiviado.

À equipe da Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos - CTR Santa Rosa, que permitiu a coleta do lixiviado.

À Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP e ao Comitê Guandu, pela concessão de auxílio financeiro.

CARVALHO, Jéssica Xavier de. **Caracterização físico-química do lixiviado de central de tratamento de resíduos e possíveis aplicações agrícolas**. 2015. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

RESUMO

O elevado consumo de produtos, associado ao crescimento demográfico, tem proporcionado o aumento da geração de resíduos sólidos. O aterro sanitário é uma alternativa adequada de disposição desses resíduos, entretanto gera subprodutos que ocasionam impactos ambientais, tais como o lixiviado e o biogás. O lixiviado é constituído por diversas substâncias, como por exemplo, matéria orgânica, macro e micronutrientes que possuem elevado potencial para aproveitamento agrícola. No entanto, a fertirrigação utilizando esse efluente deve ser realizada de tal forma que não promova a contaminação do solo e das plantas por elementos tóxicos. Devido à variabilidade dos compostos presentes no lixiviado, torna-se importante realizar a caracterização físico-química desse efluente. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o lixiviado bruto da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa, localizada no município de Seropédica/RJ e pesquisar as possíveis aplicações agrícolas. Os parâmetros físico-químicos utilizados foram: pH, turbidez, cor, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK). Os resultados obtidos na caracterização do lixiviado não permitem afirmar em qual fase o efluente se encontra, mas proporciona dados importantes sobre o lixiviado em estudo.

Palavras-chave: aterro sanitário, análise de efluente, toxicidade.

CARVALHO, Jéssica Xavier de. Physico-chemical characterization of leachate of the central treatment of waste and potential agricultural applications. 2015. 39 p. Monograph (Graduation in Agricultural and Environmental Engineering) - Engineering Department, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

ABSTRACT

The high consumption of products, associated with population growth, has led to the increase in the generation of solid waste. The landfill is a suitable alternative for disposal of such waste, however it generates by-products that cause environmental impacts, such as leachate and biogas. The leachate is composed of various substances, such as organic matter, macro and micronutrients that have a high potential for agricultural use. However, the fertigation using this effluent must be conducted in such a way that does not promote the contamination of soil and plants by toxic elements. Due to the variability of the compounds present in leachate, it becomes important to perform the physico-chemical characterization of the effluent. The objective of this work was to characterize the gross leachate from the central treatment and disposal of waste - CTR Santa Rosa, located in the municipality of Seropédica/RJ and search the possible agricultural applications. The physico-chemical parameters used were: pH, turbidity, color, electrical conductivity, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total Kjeldahl nitrogen (TKN). The results obtained in the characterization of the leachate do not allow affirm in which phase the effluent is, but provides important data on the leached under study.

Keywords: sanitary landfill, effluent analysis, toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa.....	24
Figura 2 - Área da central de tratamento e disposição final de resíduos.	25
Figura 3 - Localização da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa em relação à região hidrográfica do Guandu.....	25
Figura 4 - (a) Estação elevatória; (b) e (c) coleta do lixiviado na estação elevatória; (d) cor do lixiviado.	26
Figura 5 - (a) Preparo do teste de germinação; (b) amostras dispostas em estufa B.O.D; (c) rolos de papel ímersos nas diluições de lixiviado.	31
Figura 6 - (a) Preparo dos rolos de papel com as sementes; (b) amostras dispostas em estufa; (c) rolos de papel com as sementes de milho.	32
Figura 7 - Sementes de milho híbrido no 4º dia após o preparo do ensaio.	33
Figura 8 - (a) Semente de milho variedade em papel "germifolha"; (b) semente de milho híbrido em papel toalha; (c) semente de milho variedade em papel toalha; (d) sementes de milho em gaze, mantidas sem controle de temperatura; (e) semente de milho variedade, mantida sem controle de temperatura.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
NBR	Norma Brasileira Registrada
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RAS	Regras para Análise de Sementes
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO	12
2.1.1 Definição	12
2.1.2 Geração	12
2.1.3 Composição	14
2.1.4 Caracterização	15
2.1.5 Parâmetros físico-químicos relevantes	17
2.1.6 Processos de tratamento de lixiviado	20
2.1.7 Aplicações agrícolas do lixiviado	21
2.1.8 Avaliação de toxicidade	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 COLETA DO LIXIVIADO	24
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e o elevado consumo de produtos, associados ao crescimento demográfico, têm proporcionado o aumento da geração de resíduos sólidos.

A disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é uma forma simples e economicamente viável quando comparada a outras técnicas. Esse é um dos motivos da crescente construção de aterros sanitários no Brasil.

Conforme define a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 8419/1992, a construção de aterros sanitários "utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível".

Apesar de o aterro sanitário ser uma forma de disposição adequada de resíduos, gera-se subprodutos que ocasionam grandes impactos ambientais, quando não tratados de maneira apropriada, tais como o lixiviado e o biogás.

O lixiviado pode ser definido como líquido de coloração escura proveniente da decomposição dos resíduos sólidos acrescido pela quantidade de água que infiltra nas células do aterro e participa do processo de degradação. Esse líquido, ao percolar no solo que compõe a base do aterro pode contaminá-lo, além de atingir o lençol freático, poluindo as águas subterrâneas e as águas superficiais, impactando a qualidade dos recursos hídricos.

A composição do lixiviado depende dos tipos de resíduos recebidos no aterro, da forma de disposição, da idade do aterro e das condições climáticas (Ferreira, 2006). Dessa forma, torna-se importante realizar a caracterização físico-química desse efluente, utilizando alguns parâmetros, tais como: potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, cor, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio amoniacal (N-NH₃), fósforo, cloretos, alcalinidade, série sólidos e metais pesados (Moravia, 2007).

De acordo com Silva (2002), devido à complexidade e à variabilidade apresentada pelos compostos orgânicos e inorgânicos que podem estar presentes no efluente, recomenda-se realizar testes biológicos para se obter informações não abrangidas pela caracterização física e química. Essa necessidade tem estimulado a realização de testes de toxicidade.

Segundo Brito-Pelegrini et al. (2009), as sementes são organismos apropriados para ensaios toxicológicos e para avaliação do tratamento de águas residuárias que se pretende utilizar em atividades agrícolas.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização físico-química do lixiviado bruto da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa, localizada no município de Seropédica/RJ e pesquisar as possíveis aplicações agrícolas desse efluente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

2.1.1 Definição

A ABNT na norma NBR 8419/1992, define percolado como "líquido que passou através de um meio poroso" e define chorume como "líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)". Essa mesma norma define lixiviação como "deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos".

Segundo Lange e Amaral (2009),

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

O termo mais adequado e utilizado recentemente é lixiviado, por englobar o líquido proveniente da decomposição dos resíduos e a água que infiltra nas células do aterro e participa do processo de degradação.

2.1.2 Geração

De acordo com Lange e Amaral (2009), o processo de geração do lixiviado pode ser influenciado por fatores climáticos e hidrogeológicos, pelas características da camada de cobertura, características dos resíduos e pelo método de

impermeabilização atuante no local. Dentre esses fatores, destaca-se a precipitação pluviométrica que ocorre na área do aterro, e a velocidade de degradação dos resíduos, que influenciam o volume de lixiviado gerado.

Segundo Fleck (2003), o volume de lixiviado gerado em um aterro depende do volume de água que ingressam agregados aos resíduos sólidos, medidos na forma de umidade, e o volume de água precipitado sobre o aterro.

De acordo com Catapreta (2008) é possível realizar a avaliação das taxas de geração e acumulação de líquidos lixiviados e biogases, e suas respectivas características, pelo balanço hídrico. Os modelos matemáticos mais empregados para avaliar o balanço hídrico são: método suíço e o método do balanço hídrico. O primeiro atribui grande importância às chuvas precipitadas sobre a área do aterro, sendo razoável a sua aplicação, segundo Fleck (2003), para regiões de clima predominantemente úmido e de chuvas regulares. O segundo método, de acordo com Ferreira (2006), corresponde à diferença entre toda a água que entra no aterro e a que sai (consumida nas reações químicas ou que deixa o aterro na forma de vapor).

Segundo Kjeldsen et al. (2002) podem ser consideradas quatro as fases que ocorrem desde a disposição dos resíduos no aterro sanitário até sua estabilização completa, as quais são: fase aeróbia, fase anaeróbia, fase metanogênica inicial, e fase de estabilização metanogênica.

Na fase aeróbia, os microrganismos aeróbios e facultativos iniciam a estabilização da matéria orgânica, consumindo o oxigênio do meio e gerando dióxido de carbono (CO_2). A atividade metabólica desses microrganismos é exotérmica, elevando a temperatura do meio.

A fase anaeróbia se tem como substratos básicos: açúcares simples, aminoácidos, glicerol e ácidos carboxílicos de cadeia longa, produtos da fase enzimática. Bactérias acidogênicas irão produzir ácidos de cadeias curtas, alcoóis, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio (Fleck, 2003). Contudo, existe a predominância dos ácidos voláteis como acético, propiônico, butírico, entre outros. Adicionalmente, observa-se a diminuição da temperatura e do pH do meio.

Na fase metanogênica inicial, os ácidos intermediários são consumidos pelas arqueas metanogênicas, sendo convertidos a metano (CH_4) e CO_2 . Segundo Moravia (2010), nessa fase a carga orgânica do lixiviado reduz e a produção de gases cresce proporcionalmente. Além disso, ocorre o aumento de pH (devido ao

consumo de substâncias ácidas) e os metais são removidos do lixiviado por complexação e precipitação.

Na fase de estabilização metanogênica, a atividade dos microrganismos reduz devido à limitação de substratos e nutrientes disponíveis. Ocorre queda de produção de gás e o aumento do valor do potencial redox, com o reaparecimento de oxigênio e espécies oxidadas.

2.1.3 Composição

As características do lixiviado são altamente variáveis. Isso é atribuído a diversos fatores que interagem entre si, tais como, a composição e profundidade de resíduos, a disponibilidade de umidade e oxigênio, a forma de construção e operação do aterro, e a idade dos resíduos aterrados. Assim, a composição dos lixiviados pode variar consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre épocas do ano (Reinhart e Grosh, 1998).

Os lixiviados de aterro sanitário são constituídos basicamente de uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microrganismos (Cammarota et al., 1994 apud Coelho et al., 2002).

Christensen et al. (2001) propõem a classificação dos poluentes presentes no lixiviado em 4 grandes categorias, a saber: matéria orgânica dissolvida, macrocomponentes inorgânicos, compostos orgânicos xenobióticos e compostos encontrados em menor proporção. Também, ressalta-se que existe a presença de bactérias no lixiviado. Assim, a Tabela 1, confeccionada por Nagashima et al. (2009), detalha os componentes de cada categoria descrito por Christensen et al. (2001) e inclui as bactérias como parte das frações do lixiviado.

Tabela 1 - Composição das frações presentes no lixiviado.

Principais frações	Componentes
Matéria orgânica dissolvida	Expressa como Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT), inclui metano (CH ₄), ácidos graxos voláteis, principalmente na fase ácida, e muitos compostos recalcitrantes, como por exemplo, compostos húmicos e fúlvicos.
Macrocomponentes	Metais como cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe)

inorgânicos	e vários íons como: amônio (NH_4^+), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), sulfetos (S^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}). Presença de metais pesados: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn).
Compostos orgânicos xenobióticos	Incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias tóxicas.
Compostos encontrados em menor proporção	Metais como bário (Ba), cobalto (Co), lítio (Li) e mercúrio (Hg) e semi-metais: boro (B) e arsênio (As) e não metal selênio (Se).
Bactérias	Acetogênicas, metanogênicas, desnitrificantes e coliformes.

Fonte: Christensen et al. (2001); Morais (2005); Nagashima et al. (2009).

2.1.4 Caracterização

Existem parâmetros coletivos específicos e não específicos para determinar as características de efluentes biológicos. De acordo com Moravia (2007), os primeiros são determinados por métodos padronizados na literatura e usualmente empregados na caracterização de efluentes, enquanto que, os parâmetros coletivos não específicos são métodos de caracterização encontrados na literatura, porém ainda não padronizados.

Ainda segundo o autor anterior,

os principais parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização coletiva específica de lixiviados são: o potencial hidrogeniônico (pH), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), o nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio amoniacal (N-NH_3), fósforo, cloretos, alcalinidade, série sólidos e metais pesados.

A caracterização empregando parâmetros coletivos não específicos tais como DQO inerte, biodegradabilidade aeróbia, distribuição de massa molar e substâncias húmicas, fornece informações práticas importantes para a compreensão dos fenômenos que ocorrem nas etapas do tratamento. Tal compreensão permite a concepção de etapas sequenciais nas estações de tratamento de lixiviados mais coerentes para a remoção de carga orgânica (Moravia, 2007).

Souto e Povinelli (2007) apud Lange e Amaral (2009) realizaram estudos onde procuraram estabelecer faixas de variação dos parâmetros físico-químicos de lixiviados gerados em aterros brasileiros. Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos resultados obtidos no referido trabalho.

Tabela 2 - Intervalo de variação dos parâmetros físico-químicos do lixiviado de aterros sanitários instalados no Brasil.

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP (%)
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ de CaCO ₃)	750 – 11.400	750 – 7.100	69
Dureza (mg L ⁻¹ de CaCO ₃)	95 – 3.100	95 – 2.100	81
Condutividade (µS cm ⁻¹)	2950 – 2.500	2950 – 17.660	77
DBO (mg L ⁻¹ de O ₂)	< 20 – 30.000	< 20 – 8.600	75
DQO (mg L ⁻¹ de O ₂)	190 – 80.000	190 – 22.300	83
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	10 – 480	10 – 170	63
Fenóis (mg L ⁻¹ de C ₆ H ₅ OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58
NTK (mg L ⁻¹ de N)	80 – 3.100	Não há	–
N-amoniaco (mg L ⁻¹ de N)	0,4 – 3.000	0,4 – 1.800	72
N-orgânico (mg L ⁻¹ de N)	5 – 1.200	400 – 1.200	80
N-nitrito (mg L ⁻¹ de N)	0 – 50	0 – 15	69
N-nitrato (mg L ⁻¹ de N)	0 – 11	0 – 3,5	69
P-total (mg L ⁻¹)	0,1 – 40	0,1 – 15	63
Sulfeto (mg L ⁻¹)	0 – 35	0 – 10	78
Sulfato (mg L ⁻¹)	0 – 5.400	0 – 1.800	77
Cloreto (mg L ⁻¹)	500 – 5.200	500 – 3.000	72
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	3.200 – 21.900	3.200 – 14.400	79
Sólidos totais fixos (mg L ⁻¹)	630 – 20.000	630 – 5.000	60
Sólidos totais voláteis (mg L ⁻¹)	2.100 – 14.500	2.100 – 8.300	74
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	5 – 2.800	5 – 700	68
Sólidos suspensos voláteis (mg L ⁻¹)	5 – 530	5 – 200	62
Ferro (mg L ⁻¹)	0,01 – 260	0,01 – 65	67
Manganês (mg L ⁻¹)	0,04 – 2,6	0,04 – 2,0	79
Cobre (mg L ⁻¹)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61
Níquel (mg L ⁻¹)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71
Cromo (mg L ⁻¹)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89
Cádmio (mg L ⁻¹)	0 – 0,26	0 – 0,065	67
Chumbo (mg L ⁻¹)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64
Zinco (mg L ⁻¹)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70

FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Souto e Povinelli (2007) apud Lange e Amaral (2009).

2.1.5 Parâmetros físico-químicos relevantes

pH

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) de um meio líquido, indicando condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade. É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14, onde valores inferiores a 7 indicam condição ácida e superiores a 7 revelam condição alcalina. O valor de pH igual a 7 representa condição de neutralidade.

Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. A água pode ter sua temperatura alterada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). Trata-se de um parâmetro importante, pois exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias (Brasil, 2006).

Turbidez

A turbidez pode ser definida, conforme Brasil (2006), como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (uT).

A medição desse parâmetro é realizada por um turbidímetro ou nefelômetro. Quanto maior o espalhamento do feixe de luz ao passar pela amostra, maior será a sua turbidez.

Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmicos e fúlvicos, os quais são substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos.

Ressalta-se que o esgoto doméstico se caracteriza por apresentar predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais. Entre os colóides inorgânicos, os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo (CETESB, 2014).

A cor é determinada comparando-se a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo expressa em unidade Hazen (uH). Pode-se determinar a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, e a cor verdadeira, quando é removido o material em suspensão por centrifugação ou filtração da amostra.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água indica sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (Brasil, 2006). Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a condutividade elétrica e quanto menor a condutividade, mais pura é a solução.

A condutividade elétrica da água é expressa em unidades de resistência (Siemens) por unidade de comprimento (geralmente em cm ou m). As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados à água, maiores são os valores da condutividade elétrica. Assim, em ambientes poluídos por esgoto doméstico ou industrial os valores desse parâmetro podem chegar até 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Brasil, 2006).

Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra, por meio de um forte agente oxidante, como o dicromato de potássio, em meio ácido. Esse parâmetro é indispensável nos estudos de caracterização de efluentes sanitários e industriais. Para melhor observação da biodegradabilidade de um efluente são utilizados conjuntamente os parâmetros de DQO e de DBO (CETESB, 2014).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) se refere exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, enquanto a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos

químicos. Assim sendo, o valor da DQO é sempre superior ao da DBO e a relação entre eles indica a parcela da matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica. Ambos os parâmetros são expressos em mg L^{-1} (Brasil, 2006).

Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é definida como sendo a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um período de 5 dias, numa temperatura de incubação de 20°C , frequentemente referido como $\text{DBO}_{5,20}$ (CETESB, 2014).

Em esgotos domésticos, a concentração média da DBO é de 300 mg L^{-1} , o que indica que são necessárias 300 mg de oxigênio (O_2) para estabilizar, em um período de 5 dias e a 20°C , a quantidade de matéria orgânica biodegradável contida em 1 L da amostra do efluente (Brasil, 2006).

A concentração de DBO em ambientes naturais não poluídos é baixa (1 mg L^{-1} a 10 mg L^{-1}). Nos corpos hídricos sujeitos à poluição decorrente de esgotos domésticos ou de criatórios de animais, os valores são bem mais elevados (Brasil, 2006).

Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, então quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável é o efluente, sendo comum e recomendável aplicar tratamentos biológicos (CETESB, 2014).

Nitrogênio Total Kjeldahl

O nitrogênio (N) é constituinte das proteínas e suas concentrações em lixiviados encontram-se relacionadas diretamente aos percentuais de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos. As formas orgânica e amoniacal são as únicas representativas em lixiviados em meios anaeróbios, enquanto a conversão a nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-) ocorre em ambientes aeróbios (Fleck, 2003).

O nitrogênio amoniacal e o orgânico são formas reduzidas de nitrogênio. Já o nitrito e o nitrato são formas oxidadas, formados durante o processo de nitrificação onde a amônia é oxidada a nitrito e esse a nitrato (Nagashima et al., 2009).

O nitrogênio total Kjeldahl (NTK) pode ser usado como um substituto prático da concentração de nitrogênio total presente no lixiviado. O nitrogênio total engloba,

além do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal (medidos como NTK), o nitrito, o nitrato e outras formas oxidadas eventuais. Entretanto, as formas oxidadas só ocorrem em concentrações muito baixas, graças ao ambiente anaeróbio do aterro (Souto, 2009).

2.1.6 Processos de tratamento de lixiviado

Existem diversas tecnologias de tratamento de lixiviado e a escolha do método adequado dependerá das características apresentadas pelo efluente, a qual pode variar entre diferentes aterros e, ao longo do tempo, em um mesmo aterro.

Os lixiviados podem ser tratados por processos físico-químicos e/ou processos biológicos, aeróbios e anaeróbios. Segundo Bidone (2007), o principal objetivo do tratamento de lixiviado é reduzir as concentrações de compostos orgânicos e N-amoniacal, de forma a atender o exigido na Resolução CONAMA N° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Os lixiviados característicos de um aterro novo apresentam disponibilidade de compostos orgânicos biodegradáveis de fácil remoção pelos microrganismos, baixa concentração de nitrogênio amoniacal e elevada concentração de ácidos graxos voláteis de baixo peso molecular, sendo o tratamento biológico nesse caso mais adequado. Quando os lixiviados são provenientes de aterros com maior tempo de atividade, os mesmos apresentam uma redução significativa de sua fração orgânica biodegradável e, por outro lado, ocorre aumento da concentração de nitrogênio amoniacal. Isto significa que tanto o tratamento biológico aeróbio como anaeróbio podem ser limitados na remoção desses compostos orgânicos (Moravia, 2010).

De maneira geral, as soluções para tratar os lixiviados são baseadas em sistemas combinados, atentando-se à eficiência e ao custo do tratamento.

Processos Biológicos

Para o tratamento biológico de lixiviado pode ser utilizados sistemas aeróbios (lodos ativados, lagoas aeradas, filtros biológicos), anaeróbios (reator anaeróbio de fluxo ascendente, lagoas anaeróbias, filtro anaeróbio) e os facultativos,

representados pelas lagoas facultativas (Morais, 2005). Além desses, existem também o tratamento combinado de lixiviados com esgoto sanitário, os alagados construídos, entre outros.

Os tratamentos biológicos são baseados na nutrição dos microrganismos com substrato poluente, podendo ser divididos em aeróbios e anaeróbios. A principal aplicação desse processo está orientada à remoção de matéria orgânica. Grandes volumes de efluente podem ser tratados, transformando compostos complexos em CO_2 e H_2O (processo aeróbio) ou CH_4 e CO_2 (processo anaeróbio) com custos relativamente baixos (Moravia, 2010).

De acordo com Fleck (2003) é essencial adotar uma bacia de equalização para manter as características do afluente ao sistema de tratamento, sem variações bruscas, evitando choques de carga.

O tratamento biológico tem se mostrado pouco eficiente para lixiviados provenientes de aterros com maior tempo de operação, devido à presença de compostos recalcitrantes (Silva, 2002).

Processos físico-químicos

Os processos físico-químicos promovem a remoção de sólidos e a degradação da matéria poluente. Segundo Moravia (2010), estes processos apresentam um custo operacional maior e possuem o inconveniente de adicionar compostos químicos ao meio.

As técnicas de tratamento físico-químicos mais usuais são: coagulação-floculação, sedimentação ou flotação; oxidação química; adsorção; separação por membranas; evaporação; remoção de nitrogênio amoniacal por arraste com ar (*air stripping of ammonia*); entre outros.

2.1.7 Aplicações agrícolas do lixiviado

O lixiviado contém uma quantidade de macronutrientes importantes para a agricultura, como o nitrogênio, fósforo e potássio, assim como micronutrientes e matéria orgânica, atribuindo-lhe elevado potencial para aproveitamento agrícola.

Matos et al. (2008) avaliaram a viabilidade do aproveitamento agrícola de lixiviado e constataram que devido aos altos valores de pH e de concentração de material orgânico e micronutrientes e às baixas concentrações de metais pesados, a

fertirrigação deveria ser considerada como uma forma de disposição desse efluente.

Silva et al. (2010) avaliaram a disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de lixiviado de resíduo sólido, e concluíram que a aplicação de lixiviado proporcionou acúmulo de sódio (Na) em todas as camadas avaliadas do solo, embora isso não tenha causado prejuízo à produtividade do capim-tifton 85. Além disso, os autores afirmam que taxas de aplicação inferiores a $1000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DBO_5 de lixiviado não proporcionaram problemas ao solo e, portanto, podem ser utilizadas para disposição dessas águas residuárias.

Beranger et al. (2010) realizaram trabalho com o objetivo de identificar parâmetros de qualidade biológica do solo, relacionados ao ciclo do nitrogênio, que pudessem refletir alterações no solo agrícola devido à aplicação de lixiviado. Para isso, procederam-se aplicações de lixiviado no solo e, posteriormente, a semeadura direta do milho. Após as avaliações, os autores puderam concluir que a aplicação de lixiviado não causou alterações nas variáveis microbiológicas e bioquímicas analisadas, indicando que o lixiviado é biologicamente estável.

Kuwano (2013) avaliou os efeitos da aplicação de lixiviado de aterro sanitário em atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo e inferiu que o efeito da aplicação de lixiviado foi maior nos atributos químicos, aumentando os teores de sódio, potássio e a condutividade elétrica do solo. Além disso, concluiu que os indicadores microbiológicos e bioquímicos, por sua vez, foram pouco influenciados pela aplicação do lixiviado, o que sugere baixo efeito negativo do lixiviado de aterro sanitário sobre a comunidade de microrganismos do solo.

Ferreira (2013) avaliou a viabilidade da utilização de lixiviado produzido em aterro sanitário na adubação de culturas oleaginosas e o efeito causado aos atributos químicos do solo. Para isso, avaliou o crescimento de oleaginosas (girassol e mamona) e as alterações químicas em três solos de diferentes texturas após a aplicação de doses crescentes de lixiviado nas formas sólida e líquida. Os resultados mostraram que as crescentes doses do lixiviado promoveram incrementos na disponibilidade de nutrientes nos solos. As doses da borra do lixiviado influenciaram as variáveis de crescimento da mamona de forma linear crescente. Além disso, não houve diferenças nas concentrações de metais pesados pela adição do lixiviado na forma líquida, observando-se apenas aumento nas concentrações de chumbo (Pb) no Cambissolo pela adição do lixiviado na forma sólida.

A partir desses trabalhos analisados, pode-se inferir que o lixiviado, quando disposto no solo, pode fornecer parte dos nutrientes necessários ao desenvolvimento de culturas. No entanto, a aplicação deve ser feita de forma cautelosa, para que o solo não seja contaminado por concentrações elevadas de elementos tóxicos.

2.1.8 Avaliação de toxicidade

Os testes de toxicidade são bioensaios realizados a fim de determinar as concentrações permissíveis de um agente químico para o desenvolvimento e/ou sobrevivência de determinados organismos vivos (Carniato et al., 2007).

Segundo Fuentes et al. (2004) apud Nascentes (2013), a avaliação de toxicidade de um determinado efluente por meio de testes de toxicidade com plantas é extremamente importante para se avaliar a possibilidade de aplicação do mesmo no solo.

Brito-Pelegrini et al. (2009) afirmam que

as sementes são organismos bem apropriados para ensaios toxicológicos realizados em espaços que não exigem técnicas e equipamentos sofisticados nem ambientes extremamente controlados, tornando-se uma metodologia importante para popularização dos ensaios toxicológicos e para avaliação da qualidade do tratamento de águas residuárias que se pretende utilizar em atividades agrícolas.

Carniato et al. (2007) avaliaram a toxicidade de lixiviado de resíduos sólidos "in natura" e tratado, utilizando como organismos testes *Daphnias similis* e *Eruca sativa* (rúcula). Os autores concluíram que os ensaios de toxicidade apresentaram uma grande aplicabilidade no monitoramento e gerenciamento de lixiviado de resíduos sólidos, demonstrando a alta toxicidade desse resíduo para o meio ambiente, principalmente para o ambiente aquático.

Silva (2015) avaliou a toxicidade de água residuária de bovinocultura, suinocultura e lixiviado de aterro sanitário na germinação de sementes de milho e constatou que dentre os efluentes analisados, o lixiviado apresentou o efeito mais tóxico. Isso demonstra a importância de se realizar testes de toxicidade com sementes, quando se pretende utilizar lixiviado de aterro sanitário na agricultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DO LIXIVIADO

O lixiviado foi coletado na central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa, localizada no município de Seropédica/RJ.

A CTR Santa Rosa se situa a cerca de 10 km do centro do município de Seropédica e a, aproximadamente, 6 km do município de Itaguaí (EIA, 2007), conforme pode ser observado na Figura 1.

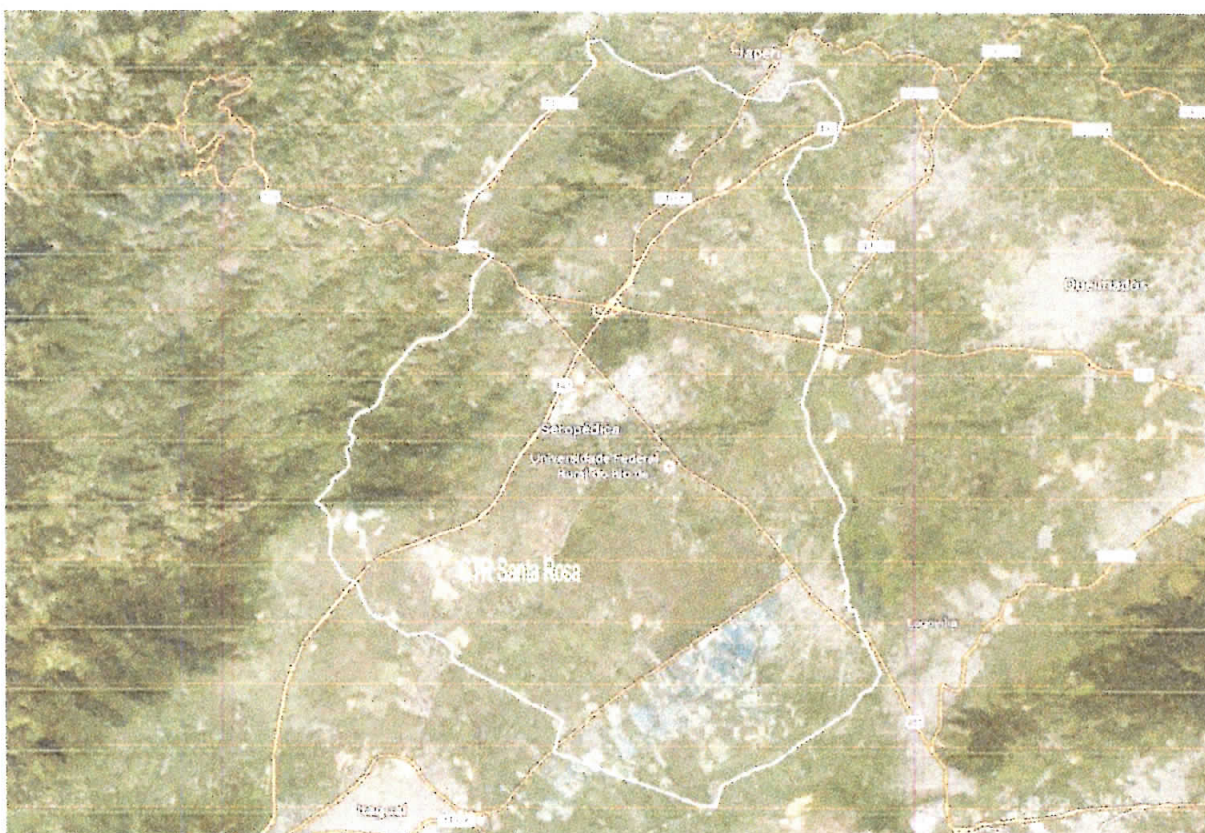


Figura 1 - Localização da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) realizado em 2007, a área ocupada pela CTR Santa Rosa apresenta cerca de 2.226.000 m², ilustrada pela Figura 2.



Figura 2 - Área da central de tratamento e disposição final de resíduos.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2015).

A CTR se encontra na Bacia da Baía de Sepetiba e Sub-bacia do Rio Piranema, localizada na região hidrográfica do Guandu, conforme Figura 3.

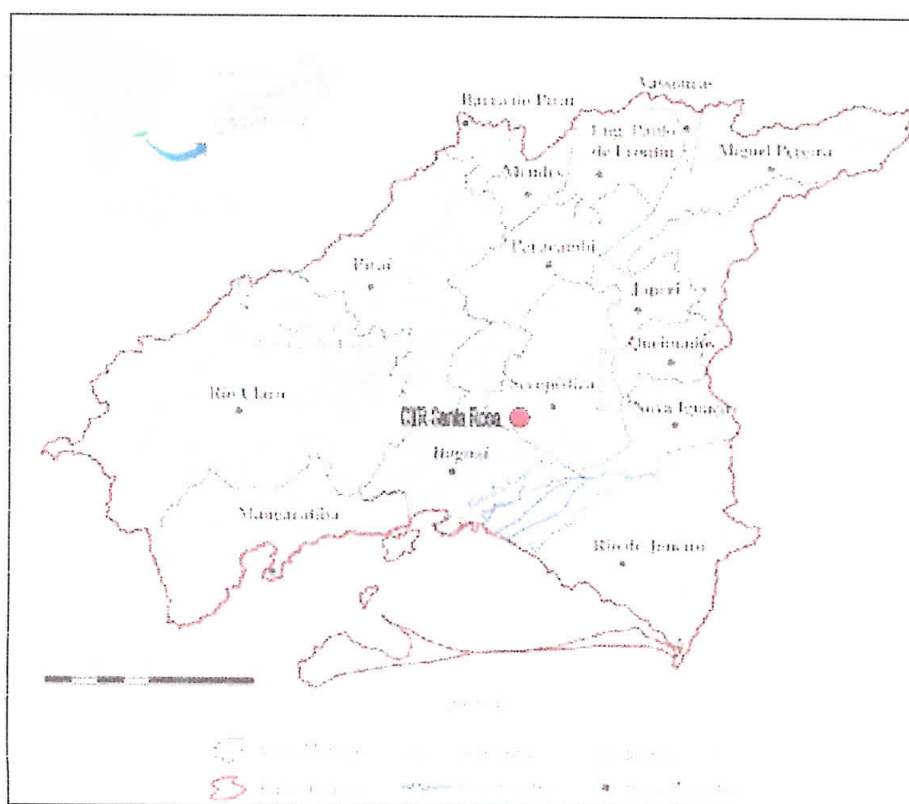


Figura 3 - Localização da central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa em relação à região hidrográfica do Guandu.

Fonte: Adaptado de Comitê Guandu (2014).

Segundo informações fornecidas pela empresa Ciclus, a CTR está em operação desde abril de 2011, recebendo aproximadamente 11 mil toneladas diárias de resíduos e gerando 500 a 600 m³ de lixiviado por dia.

O lixiviado bruto foi coletado na estação elevatória em maio de 2015, conforme observado na Figura 4.

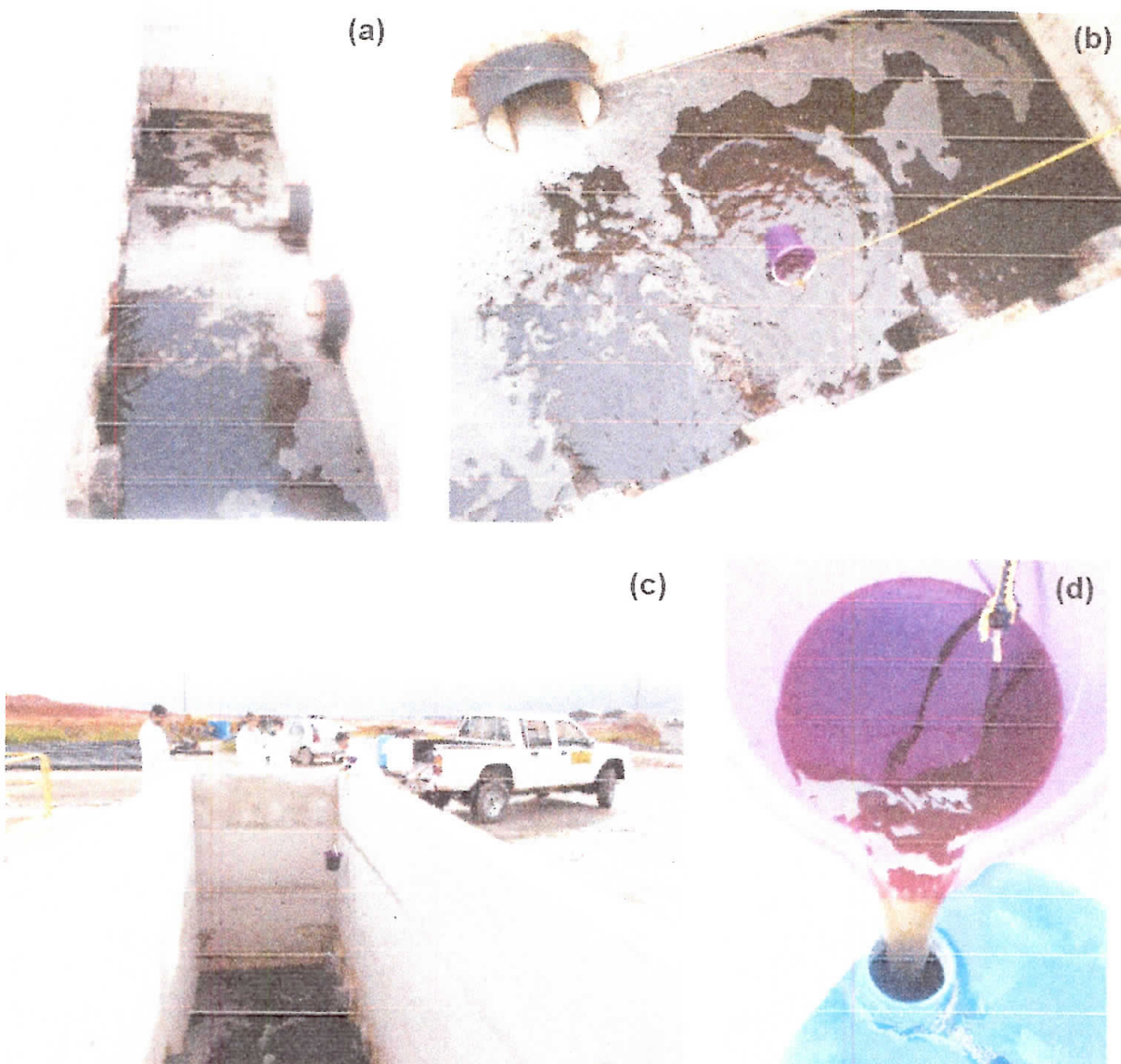


Figura 4 - (a) Estação elevatória; (b) e (c) coleta do lixiviado na estação elevatória; (d) cor do lixiviado.

Fonte: Imagens de Rozileni Caletti (2015).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO

O lixiviado coletado foi conduzido ao Laboratório de Monitoramento Ambiental I - Água e Efluentes, localizado no Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde foram realizadas as análises físico-químicas.

Para caracterizar o lixiviado foram utilizados os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, turbidez, cor, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK).

Os métodos utilizados na determinação de cada parâmetro foram baseados nos procedimentos apresentados pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados.

Parâmetros	Método (APHA, 2005)
pH	4500-H ⁺ B (pHmetro de bancada Qualxtron)
Turbidez	2130 B (Turbidímetro portátil Hanna)
Cor	2120-B (Espectrofotômetro Hach DR 3900)
Condutividade elétrica	2510-B (Condutivímetro Digimed)
DQO	5220-D (Termoreator Hach DRB 200 e Espectrofotômetro Hach DR 3900)
DBO	5210-B
NTK	4500-N _{org} B (Termoreator Hach DRB 200 e Espectrofotômetro Hach DR 3900)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 ilustra os resultados da caracterização físico-química do lixiviado coletado na central de tratamento e disposição final de resíduos - CTR Santa Rosa.

Tabela 4 - Caracterização do lixiviado

Parâmetros	Unidade	Resultados
pH	–	8,13
Temperatura	°C	24,3
Turbidez	uT	168
Cor	uH	8680
Condutividade elétrica	mS cm ⁻¹	40,1
DQO	mg L ⁻¹ de O ₂	7997
DBO	mg L ⁻¹ de O ₂	701
NTK	mg L ⁻¹ de N	3890

O pH encontra-se levemente alcalino, dentro da faixa mais provável de lixiviado de aterros sanitários instalados no Brasil, conforme descrito por Souto e Povinelli (2007) apud Lange e Amaral (2009). Esse valor de pH sugere que o lixiviado está na fase metanogênica, onde ácidos intermediários são consumidos pelas arqueas metanogênicas, elevando o pH e a temperatura do meio, sendo convertidos a CH₄ e CO₂.

Os valores de turbidez e cor aparente demonstram a presença de grande quantidade de material suspenso e dissolvido. O valor observado para a cor está muito próximo ao obtido na caracterização de lixiviado realizada por Pereira (2014). A coloração marrom escuro observado no lixiviado da CTR Santa Rosa, segundo Segato e Silva (2000) é devido à formação de substâncias húmicas e à fase metanogênica.

A condutividade elétrica apresenta valor elevado (40100 µS cm⁻¹), próximo ao máximo observado por Souto (2009). Esse resultado indica a forte presença de íons dissolvidos e alto índice de poluição deste efluente, já que quanto menor a condutividade elétrica, mais pura é a solução.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro bastante variável

em lixiviados. Souto (2009) apresenta valores de DQO variando de 20 mg L⁻¹ de O₂ a 35000 mg L⁻¹ de O₂ para lixiviados na fase metanogênica. Nessa fase, o lixiviado encontra-se mais estabilizado e, portanto, o valor da DQO observada é reduzido.

O resultado da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é normalmente inferior ao da DQO, pois se refere exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, enquanto a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Dessa forma, justificam-se os diferentes resultados encontrados para esses parâmetros.

A relação entre DQO/DBO indica a parcela da matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica. De acordo com a CETESB (2014), é comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relações DQO/DBO de 3/1, por exemplo. Para o lixiviado da CTR Santa Rosa observa-se uma relação maior, o que inviabilizaria o tratamento biológico devido ao efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável.

O nitrogênio total Kjeldahl (NTK) é o resultado da soma do nitrogênio amoniacal e do nitrogênio orgânico. O valor de NTK está relacionado ao percentual de matéria orgânica presente no lixiviado. Souto (2009) apresenta valores de NTK variando de 0,6 mg L⁻¹ de N a 5000 mg L⁻¹ de N. O valor encontrado para o parâmetro NTK sugere que o lixiviado está na fase anaeróbia (acidogênica), contrariando a fase indicada pelos demais parâmetros.

5 CONCLUSÃO

Os resultados de pH, cor e condutividade elétrica obtidos sugerem que o lixiviado se encontra na fase metanogênica, caracterizada pela decomposição dos produtos da fermentação ácida que são convertidos a CH₄, CO₂ e água.

Entretanto, o tempo de operação da CTR Santa Rosa que é de 4 anos, e o valor encontrado para o NTK contrariam a fase indicada pelos demais parâmetros, sugerindo que o lixiviado esteja na fase anaeróbia, onde atuam as bactérias acidogênicas que produzem amônia e demais substâncias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de avaliar a toxicidade do lixiviado, foram realizados ensaios de germinação utilizando sementes de milho variedade BRS 4157 (Sol da Manhã) como organismo-teste.

O teste de germinação seguiu a metodologia proposta por Nascentes (2013) e por Silva (2015), observando-se também o que preconiza as regras para análise de sementes (RAS), principalmente em relação à temperatura, ao substrato e à duração do teste para a germinação de milho, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Instruções para realizar o teste de germinação de sementes de milho.

Espécie Botânica	Substrato	Temperatura em °C	Contagem em dias	
			1°	Final
<i>Zea mays</i>	Rolo de papel (RP); Entre areia (EA).	Temperaturas alternadas: 20-30. Temperatura constante: 20; 25; 30.	4	7

Fonte: Adaptado de regras para análise de sementes (Brasil, 2009).

O lixiviado bruto foi diluído em água destilada, de modo a obter 8 tratamentos, nas concentrações de 0% (controle), 2%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75% e 100% (lixiviado).

O papel filtro "germifolha", próprio para ensaios de germinação, foi umedecido com as concentrações de lixiviado descritas anteriormente, colocando-se ao longo do menor comprimento da folha 10 sementes de milho. Em seguida, essas folhas foram enroladas, colocando-se cada rolinho em recipiente plástico contendo as concentrações de lixiviado a serem avaliadas.

Para cada tratamento foram realizadas 6 repetições com rolinhos contendo 10 sementes cada. Após a preparação das amostras, essas foram dispostas em estufa B.O.D na temperatura de 25°C.

A primeira contagem foi realizada no 4° dia após a incubação, onde foram retirados da estufa três rolinhos de cada tratamento, mantendo-se outros três para avaliação somente no 7° dia.

O primeiro ensaio foi realizado no Laboratório de Monitoramento Ambiental I - Água e Efluentes, localizado no Instituto de Tecnologia da UFRRJ. As amostras

foram preparadas seguindo a metodologia descrita anteriormente, conforme pode ser observado na Figura 5.



Figura 5 - (a) Preparo do teste de germinação; (b) amostras dispostas em estufa B.O.D; (c) rolos de papel imersos nas diluições de lixiviado.

Fonte: Imagens da autora (2015).

Após o preparo, as amostras foram colocadas em estufa B.O.D na temperatura de 20°C, pois a incubadora estava sendo utilizada também para análise de DBO de outro experimento.

No 4º dia após a incubação, os rolos de papel foram abertos e verificou-se que não havia ocorrido a germinação nem mesmo em água destilada (controle). A

suspeita de ter ocorrido tal problema era a temperatura baixa, apesar de ser uma das temperaturas possíveis para o teste de acordo com a RAS.

Procedeu-se, então, a um novo ensaio, desenvolvido no LSP - Laboratório de Estudo das Relações Solo-Planta, localizado no Instituto de Agronomia da UFRRJ, onde as amostras foram preparadas de acordo com a metodologia proposta e, dessa vez, foram dispostas em estufa com controle de fotoperíodo e à temperatura de 25°C. A Figura 6 ilustra o preparo do segundo ensaio.



Figura 6 - (a) Preparo dos rolos de papel com as sementes; (b) amostras dispostas em estufa; (c) rolos de papel com as sementes de milho.

Fonte: Imagens de Camila Madureira (2015).

No 4º dia após a incubação, os rolos de papel foram abertos e percebeu-se que não ocorreu a germinação (desenvolvimento da raiz primária e da parte aérea).

Presumiu-se que o problema era a semente. Assim, um terceiro ensaio foi realizado, alterando-se apenas a semente de milho variedade BRS 4157 (Sol da manhã) pelo milho híbrido fórmula.

Novamente não ocorreu a germinação, conforme pode ser observado na Figura 7. Assim, as suposições sobre a qualidade das sementes não era lógica, pois

tanto o lote da variedade BRS 4157 quanto o lote do milho híbrido fórmula, já haviam sido testados em experimentos recentes e a germinação ocorreu normalmente.



Figura 7 - Sementes de milho híbrido no 4º dia após o preparo do ensaio.

Fonte: Imagem da autora (2015).

Investigou-se o que poderia ter prejudicado a germinação, observando o que diferia nessa metodologia em relação à realizada por Nascentes (2013) e por Silva (2015), onde obtiveram resultados de germinação, com o desenvolvimento tanto das raízes quanto da parte aérea.

Verificou-se que nos trabalhos desenvolvidos os rolos de papel filtro eram colocados em tubos "falcon", que comportam um volume de 50 mL, enquanto nesse trabalho foram utilizados recipientes plásticos contendo 100 mL das concentrações de lixiviado a serem avaliadas. No entanto, os autores relatam que o nível do líquido era verificado diariamente e repostado quando necessário.

Outra diferença importante foi o substrato. Enquanto nos outros trabalhos foi utilizado o papel filtro "germitest®", nesse foi utilizado papel filtro "germifolha".

A fim de verificar o que poderia ter inibido a germinação foram preparadas algumas amostras utilizando diferentes substratos, como papel filtro "germifolha", papel toalha e gaze. Foram testadas para as duas sementes e utilizando 2 metodologias: a proposta no trabalho e a metodologia padrão, onde os rolos de papel filtro são envoltos por um saco plástico a fim de se evitar a perda de umidade. Utilizou-se a temperatura de 20°C para as amostras colocadas em estufa. Já as amostras preparadas com gaze foram deixadas sobre a bancada do laboratório sem controle de temperatura. Todas as amostras foram umedecidas apenas com água destilada.

Os resultados obtidos no 4º dia são demonstrados na Figura 8.

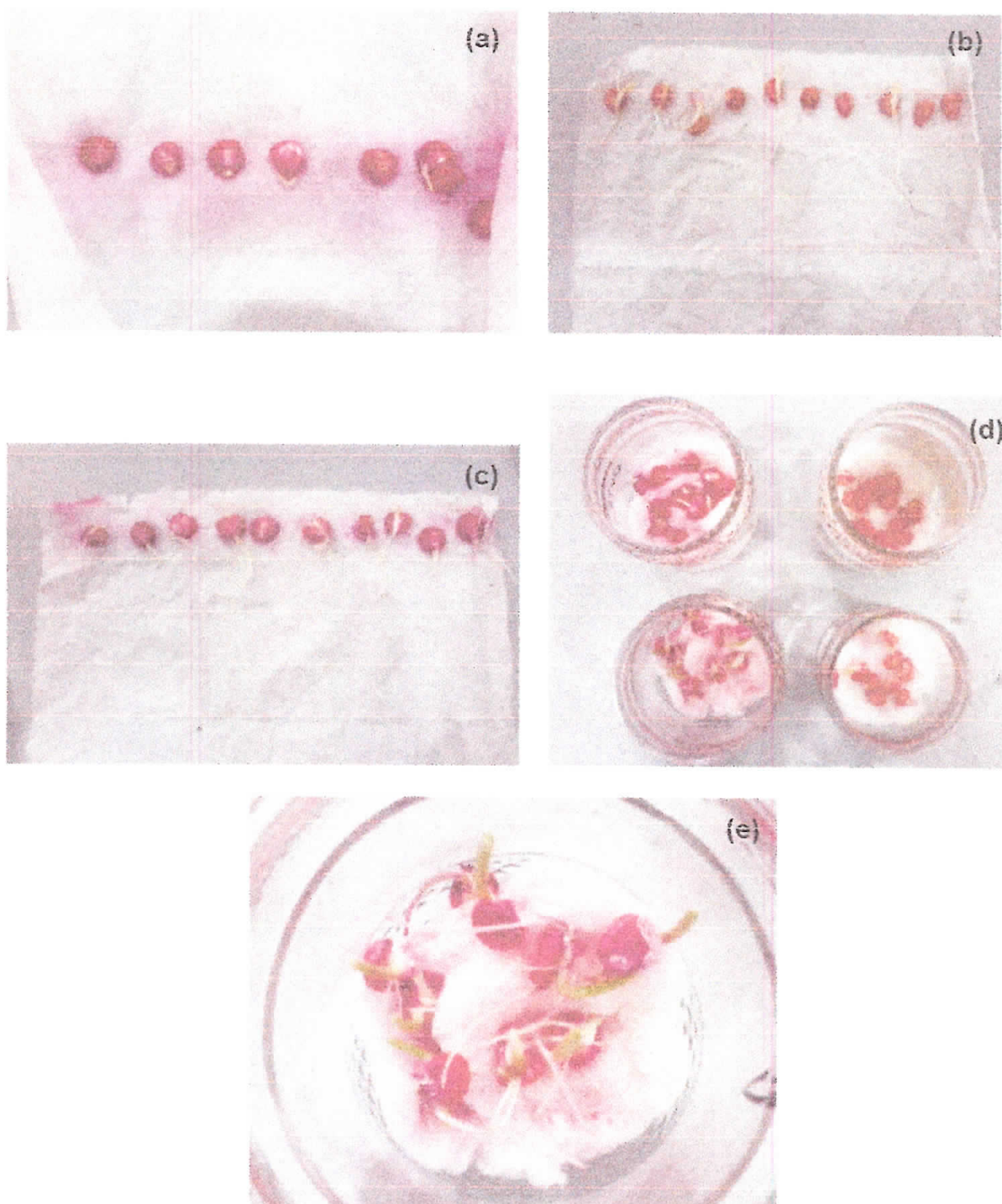


Figura 8 - (a) Semente de milho variedade em papel "germifolha"; (b) semente de milho híbrido em papel toalha; (c) semente de milho variedade em papel toalha; (d) sementes de milho em gaze, mantidas sem controle de temperatura; (e) semente de milho variedade, mantida sem controle de temperatura.

Fonte: Imagens da autora (2015).

Observa-se que a germinação foi mais expressiva utilizando a semente BRS 4157, com o substrato gaze mantido sem controle de temperatura, e com o substrato papel toalha envolto no plástico e mantido a 20°C.

Esses resultados sugerem que o lote do papel filtro "germifolha" utilizado nesse trabalho estava inibindo a germinação do milho. No entanto, para obter resultados mais conclusivos é necessário testar outros lotes do papel filtro "germifolha" em ensaios de germinação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992, 7 p.
- APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association, WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: 21th ed., 2005.
- BERANGER, J.P.O.; PANCHONI, L.C.; SANTOS, C.A.; FAGOTTI, D.S.L.; NOGUEIRA, M.A. **Microrganismos relacionados ao ciclo do nitrogênio em solo agrícola sob disposição de chorume de aterro sanitário**. Anais do XIX Encontro Anual de Iniciação Científica, UNICENTRO, Guarapuava - PR, 2010.
- BIDONE, Ricardo Figueira. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: Estudo de caso - Central de Resíduos do Recreio, em Minas do Leão/RS**. 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria em Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.
- BRITO-PELEGRINI, N.N.; PATERNIANI, J.E.S.; BROTA, G.A.; SANTOS, E.M.; SILVA, N.B.; PELEGRINI, R.T. **Ensaio biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico**. Minerva, 6(3) p.219-228, 2009.
- CARNIATO, J.G.; GERALDO, S.M.; BRITO-PELEGRINI, N.N.; PATERNIANI, J.E.S.; PELEGRINI, R.T. **Avaliação da toxicidade de percolado de resíduos sólidos pós tratamento biológico e fotocatalítico**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v.4, n.2, p.092-101, jul./dez 2007.
- CATAPRETA, Cícero Antônio Antunes. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**.

2008. 316 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais**. Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. 2014.
- CHRISTENSEN, T.H.; KJELDSEN, P.; BJERG, P.L.; JENSEN, D.L.; CHRISTENSEN, J.B.; BAUM, A.; ALBRECHTSEN, H-J.; HERON, G. Biochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**. v.16, p.659-718, 2001.
- COELHO, M.G.; ANDRADE, S.M.A.; SANTOS, L.P.; SANTOS, C.L. Caracterização e tratabilidade por coagulação-floculação de líquidos percolados provenientes de aterro sanitário municipal de Uberlândia-MG/Brasil. In: XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002, Cancún, México. **Anais... AIDS**, 2002.
- EIA - Estudo de Impacto Ambiental. **Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Santa Rosa - Seropédica/RJ**. Rio de Janeiro, 2007.
- FERREIRA, Ana Luíza Lima. **Cultivo de oleaginosas em solos tratados com chorume de aterros sanitários**. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.
- FERREIRA, Maria Alice da Silva. **Aplicação de modelos de avaliação qualitativa e quantitativa dos percolados gerados em um aterro sanitário**. 2006. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- FLECK, Eduardo. **Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- KJELDSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. **Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review**. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. v.32, (4), p.297-336, 2002.
- KUWANO, Biana Harumi. **Efeitos da aplicação de lixiviado de aterro sanitário em atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias.

- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.
- LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L.P. (Coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. PROSAB 5. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.26-59.
- MATOS, A.T; CARVALHO A.L; AZEVEDO J.C.D.d'A, **Viabilidade do aproveitamento agrícola de percolados de resíduos sólidos urbanos**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.435-440, Campina Grande - PB, 2008.
- MORAIS, Josmaria Lopes de. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. 2005. 207 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- MORAVIA, Wagner Guadagnin. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. 2010. 237 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- MORAVIA, Wagner Guadagnin. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**, 2007. 161 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- NAGASHIMA, L.A.; BARROS JÚNIOR, C.; ARAÚJO, A.L.P.; SILVA, C.A.; FUJIMURA, A.S. Características do lixiviado gerado no aterro sanitário de Paranavaí. In: 25^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. Paranavaí - PR. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- NASCENTES, Alexandre Lioi. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico**. 2013. 166 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- PEREIRA, Barbara Costa. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico por processo PACT®: avaliação da influência da mistura lixiviado/esgoto**, 2014. 38 f. Monografia (Graduação em Engenharia

- Química). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.
- REINHART, D.R.; GROSH, C.J. **Analysis of Florida MSW landfill leachate quality**. University of Central Florida, 1998.
- SEGATO, L.M; SILVA, C.L. Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre - RS. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- SILVA, Alessandra Cristina. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. 2002. 111 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- SILVA, D. F.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G.; CECON, P.R.; MOREIRA, D.A. Disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de percolado de resíduo sólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1094-1100, Campina Grande - PB, 2010.
- SILVA, Rhégia Brandão da. **Toxicidade de água residuária de bovinocultura, suinocultura e lixiviado de aterro sanitário na germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. 2008. 371 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.