



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Caroline Mitai Marques Pereira

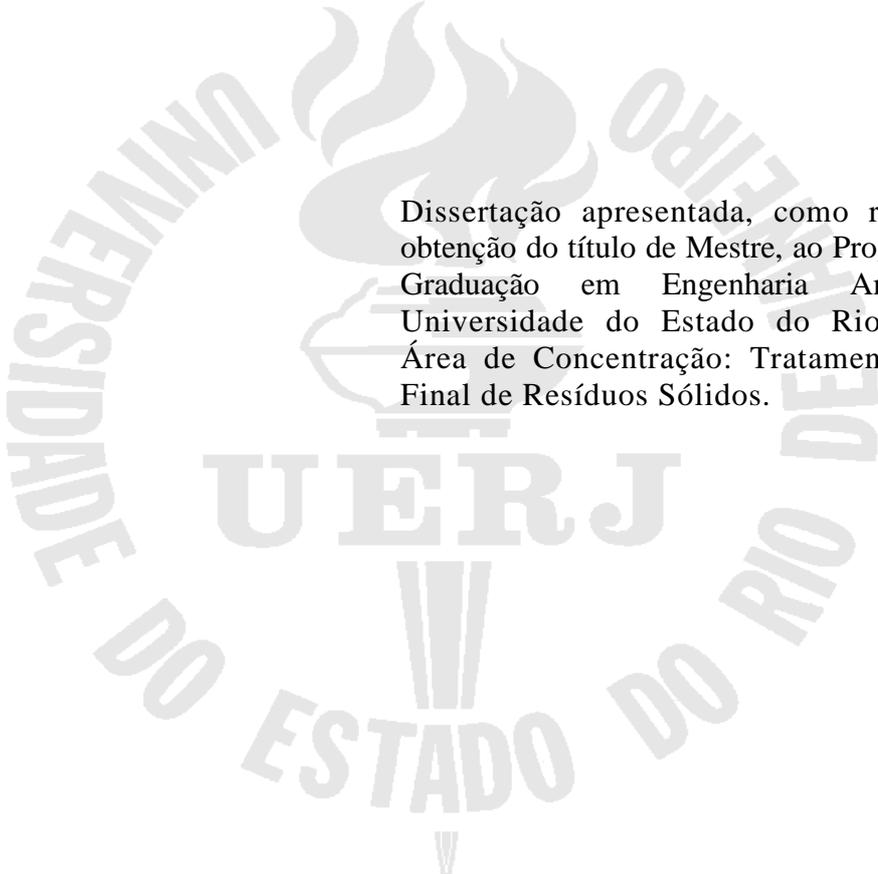
**Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado bruto e tratado
por processos primário e secundário**

Rio de Janeiro

2013

Caroline Mitai Marques Pereira

**Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado bruto e tratado por
processos primário e secundário**



Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Daniele Maia Bila

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Camille Ferreira Mannarino

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P436 Pereira, Caroline Mitai Marques.
Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado
bruto e tratado por processos primário e secundário /
Caroline Mitai Marques Pereira. - 2013.
99 fl.

Orientadora: Daniele Maia Bila.
Coorientador: Camille Ferreira Mannarino.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Lixiviado – Dissertações. I.
Bila., Daniele Maia. II. Universidade do Estado do Rio de
Janeiro. III. Título.

CDU 628.4

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Caroline Mitai Marques Pereira

**Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado bruto e tratado por
processos primário e secundário**

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Aprovado em: 10 de abril de 2013.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Daniele Maia Bila
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Camille Ferreira Mannarino
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. João Alberto Ferreira
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Fabiana Valéria da Fonseca Araújo
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, onde encontrei forças nos momentos de fraqueza e dificuldades ao longo do caminho trilhado até aqui.

A memória de Maria das Dores Lobão Marques, minha mãe, por todo o seu empenho na minha educação, todas as horas de incentivo ao estudo e ao amor recebido, para que eu me tornasse o ser humano que sou hoje. Devo essa vitória em grande parte ao seu esforço e principalmente por sempre acreditar que eu seria capaz de realizar meus sonhos.

Ao meu marido Uyratan, minha sobrinha Sarah Rubya que em muitos momentos souberam entender as dificuldades enfrentadas no dia-a-dia de uma aluna de pós-graduação, principalmente entendendo a minha ausência e me dando o suporte necessário nos momentos difíceis, me auxiliando nos cuidados com meu filho e estando sempre ao meu lado.

À minha família, pai, irmãs, tias e tios, pelo apoio e palavras de incentivo.

Ao CNPQ e FINEP pelo apoio financeiro durante o tempo de trabalho.

As minhas professoras e orientadoras Daniele Maia Bila e Camille Ferreira Mannarino, pela oportunidade de aprendizado, pela confiança e por todos os ensinamentos ao longo do curso, com quem aprendi a verdadeira dedicação e amor à pesquisa.

Ao professor João Alberto, pelas palavras de força e por aceitar participar da minha Banca Examinadora de Defesa.

A professora Fabiana, por aceitar participar da minha Banca Examinadora de Defesa.

Aos meus professores do Programa de Pós-Graduação, pelo conhecimento concedido.

Ao LES e seus integrantes, pelo espaço concedido para a realização das análises e ensinamentos do grupo de pesquisa como um todo.

As amigas que fiz durante o curso de mestrado, que se tornaram irmãs verdadeiras, Juliana Horisawa, Iara Almeida, Jarina Couto, Marília Nascimento, Ana Dalva, Quézia Santanna, Ana Carolina, Érica Mendes.

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para este trabalho se tornar realidade.

RESUMO

PEREIRA, Caroline Mitai Marques. **Avaliação da recalcitrância e toxicidade de lixiviado bruto e tratado por processos primário e secundário.** 2013. 99 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Um dos grandes problemas enfrentados no tratamento de lixiviado é a definição de suas características físico-químicas e biológicas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a composição química, a recalcitrância, e a toxicidade do lixiviado bruto e tratado por processos de tratamento (físico-químico e biológico) oriundo do Aterro Metropolitano de Gramacho, localizado no município de Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro. Os resultados mostraram maior biodegradabilidade aeróbia no efluente físico-químico com percentuais variando de 7% a 35 %. A natureza de tais compostos justifica a natureza refratária do lixiviado e alerta pela toxicidade que podem atribuir tanto aos microrganismos envolvidos no processo quanto a saúde humana quando dispostos incorretamente. Para o lixiviado em estudo, observou-se a diminuição da toxicidade ao passar pelo processo físico-químico. Dessa maneira, observou-se que é necessário a adoção de sistemas de tratamento que conjuguem processos físico-químicos atuando como pré ou pós-tratamento de processos biológicos. Sendo assim, os resultados obtidos mostram a importância deste tipo de caracterização, como fonte de subsídios para a seleção, projeto e avaliação de sistemas de tratamento.

Palavras-chave: Lixiviado; Biodegradabilidade; Recalcitrância; Toxicidade.

ABSTRACT

PEREIRA, Caroline Mitai Marques. **Evaluation of recalcitrance and toxicity of raw leachate and treated by primary and secondary processes.** 2013. 99 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Leachate from Municipal Solid Waste are characterized by high concentration of refractory organic matter, ammonia and toxic compounds. In this context, the objective of this study is to evaluate the chemical composition, the recalcitrance and toxicity of raw and treated leachate for treatment processes (physical and biological) from the Gramacho Metropolitan Landfill, located in the municipality of Duque de Caxias, in the state of Rio de Janeiro. The results showed higher aerobic biodegradability in the effluent physicochemical with percentages ranging from 7% to 35%. The nature of some compounds justifies the refractory nature of the leachate and alert the toxicity that can assign both the microorganisms involved in the process as human health when disposed improperly. Thus, it was observed that it is necessary to adopt treatment systems that combine physical and chemical processes acting as a pre-treatment of biological processes. Thus, the results show the importance of this type of characterization, as a source of information for the selection, design and evaluation of treatment systems.

Keywords: Leachate; Aerobic biodegradability; Recalcitrance; Toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema das fases de decomposição dos resíduos em aterros de RSU.....	18
Figura 2. Esquema de classificação de efluente quanto à biodegradabilidade.....	25
Figura 3. Estrutura hipotética bidimensional proposta para os ácidos húmicos.....	27
Figura 4. Esquema estrutural de organização de dados do teste estatístico boxplot.....	40
Figura 5. Reatores Biológicos e aeradores utilizados nos ensaios de biodegradabilidade aeróbica.....	42
Figura 6. Foto dos tubos com as diluições preparadas para a construção da curva de calibração para análises de carboidratos.....	44
Figura 7. Foto dos tubos de ensaio com as diluições para preparo da curva padrão utilizada na determinação de lipídeos.....	45
Figura 8. Foto dos tubos de ensaio com as diluições para a preparação da curva de calibração para a determinação do teor de substâncias húmicas nas amostras.....	48
Figura 9. Esquemas de diluições necessárias para a realização de ensaio de toxicidade com <i>Vibrio fischeri</i>	51
Figura 10. Gráfico Bloxpot de concentração de DQO (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....	55
Figura 11. Gráfico Bloxpot de concentração de COT (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....	56
Figura 12. Gráfico Bloxpot de concentração de Nitrogênio amoniacal (mg/L) no lixiviado bruto, do efluente físico-químico e do efluente PLA.....	58
Figura 13. Relação DQO/COT do lixiviado Bruto, efluente do físico-químico e efluente do PLA.....	61
Figura 14. Análise da DQO dos reatores de biodegradabilidade em determinados dias de incubação do lodo.....	66
Figura 15. Percentual de biodegradabilidade para os reatores montados com 7 , 14 e 21 dias de incubação.....	66
Figura 16. Gráfico Bloxpot de concentração de Carboidratos (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....	68

Figura 17. Gráfico Bloxpot de concentração de Lipídeos (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....70

Figura 18. Gráfico Bloxpot de concentração de Proteínas (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....72

Figura 19. Gráfico Bloxpot de concentração de Substâncias Húmicas (mg/L) no lixiviado bruto, efluente físico-químico e efluente PLA.....75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela 1. Média diária de lixo municipal disposto. Município do Rio de Janeiro – 2005 a 2009. Adaptado de Instituto Pereira Passos (2011), Armazém de dados – tabela número 1489.....	31
Tabela 2 - Período de coleta e número de amostras coletadas na ETE do Aterro de Gramacho nas 2 etapas.....	37
Tabela 3. Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização das amostras e suas respectivas metodologias descritas no APHA (APHA, 2005).....	38
Tabela 4. Preparo de soluções para análise do teor de proteínas no lixiviado.....	46
Tabela 5. Resumo dos requisitos para realização de ensaio de toxicidade aguda.....	49
Tabela 6. Preparo de Soluções teste para o ensaio com efluente.....	50
Tabela 7. Caracterização físico-química dos lixiviados bruto, efluente de processo físico-químico e efluente do PLA no período de agosto de 2011 a janeiro de 201.....	53
Tabela 8. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de DQO das amostras de lixiviado bruto, efluentes do processo físico-químico e efluente do PLA na ETE de Gramacho.....	55
Tabela 9. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de COT das amostras de lixiviado bruto, efluentes físico-químico e efluente PLA na ETE de Gramacho.....	57
Tabela 10. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de N-NH ₃ das amostras de lixiviado bruto, efluente do físico-químico e efluente do PLA na ETE de Gramacho.....	59
Tabela 11. Caracterização do lixiviado bruto e efluentes do processo físico-químico e do PLA no período de setembro de 2012 a janeiro de 2013.....	62
Tabela 12. Percentual de biodegradabilidade aeróbia no lixiviado bruto e efluentes do processo físico-químico e efluente do PLA no 21º dia de incubação.....	63
Tabela 13. Tabela de caracterização específica do lixiviado bruto e oriundo dos processos de tratamento físico-químico e PLA.....	67

Tabela 14. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de Carboidratos das amostras de lixiviado bruto, efluentes físico-químico e efluente PLA na ETE de Gramacho.....	69
Tabela 15. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de Lipídeos das amostras de lixiviado bruto, efluentes físico-químico e efluente PLA na ETE de Gramacho.....	70
Tabela 16. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de Proteínas das amostras de lixiviado bruto, efluentes físico-químico e efluente PLA na ETE de Gramacho.....	73
Tabela 17. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de monitoramento de Proteínas das amostras de lixiviado bruto, efluentes físico-químico e efluente PLA na ETE de Gramacho.....	75
Tabela 18. Valores da CL ₅₀ e FT encontrados nos ensaios com <i>Danio rerio</i>	76
Tabela 19. Análise da CL ₅₀ e sua relação com a DQO, COT e N- NH ₃ no lixiviado bruto e efluentes físico-químico e PLA aos testes realizados com <i>Danio rerio</i>	77
Tabela 20. Valores da CE ₅₀ e FT encontrados nos ensaios com <i>Vibrio fischeri</i>	79
Tabela 21. Análise da CE ₅₀ e sua relação com a DQO, COT e N- NH ₃ no lixiviado bruto e efluentes físico-químico e PLA.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE ₅₀	Concentração efetiva a 50% dos organismos-testes
CL ₅₀	Concentração letal a 50% dos organismos-testes
FT	Fator de toxicidade
UT	Unidade de toxicidade
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
OECD	Organization for Economic Co-Operation and Development
NT	Norma Técnica
NBR	Norma Brasileira
APHA; AWWA	Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater
LES	Laboratório de Engenharia Sanitária
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
PLA	Processos de Lodos Ativados
h	Horas
cm	Centímetros
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama/Litro
mL	Miligrama
µL	Microlitro
L	Litros
°C	Grau Celsius
N	Número de Amostras Utilizadas
Nm	Nanômetro
rpm	Rotações por minuto
SS	Sólidos Suspensos

SST	Sólidos Suspensos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais
SPE	Substâncias poliméricas extracelulares
SMP	Produtos Microbianos Solúveis
PM	Peso molecular
kDA	Kilodalton
ATP	Trifosfato de Adenosina
AH	Ácidos Húmicos
AF	Ácidos Fúlvicos
BSA	Proteína Albumina Bovina
SH	Substâncias Húmicas
NTK	Nitrogênio Total Kjeldal
pH	Potencial hidrogeniônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
COT	Carbono Orgânico Total
COX's	Compostos Orgânicos Xenobióticos
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
C	Carbono
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
P	Fósforo
H ⁺	Cátion Hidrogênio
CuSO ₄	Sulfato de Cobre II
NaOH	Hidróxido de Sódio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
FeCl ₃ .5H ₂ O	Cloreto de Ferro III Pentahidratado
Ca ²⁺	Íon Cálcio
Mg ²⁺	Íon Mangnésio
Na ⁺	Íon Sódio

K^+	Íon Potássio
NH_4^+	Íon Amônio
Fe^{2+}	Íon Ferro
Mn^{2+}	Íon Manganês
NO_2^-	Nitrito
NO_3^-	Nitrato
Cl ⁻ Íon	Cloro
SO_4^{2-}	Sulfato
HCO_3^-	Bicarbonato
Cd^{2+}	Íon Cádmio
Cr^{3+}	Íon Cromo
Cu^{2+}	Íon Cobre
Pb^{2+}	Íon Chumbo
Ni^{2+}	Íon Níquel
Zn^{2+}	Íon Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. REFERENCIAL TEÓRICO	16
1.1. Lixiviado de Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos	16
1.2. Caracterização do Lixiviado	21
1.2.1. <u>Parâmetros Coletivos Não-específicos</u>	21
1.2.2. <u>Parâmetros Coletivos Específicos</u>	22
1.3. Sistemas de Tratamento do Lixiviado	27
1.4. Área de Estudo	30
1.4.1. <u>O Aterro Metropolitano de Gramacho</u>	31
1.5. Ensaio de Toxicidade Aguda	33
1.5.1. <u>A Toxicidade e a Legislação</u>	35
2. METODOLOGIA	37
2.1. Procedimento de Coleta e Preservação das Amostras	37
2.2. Metodologia Analítica	38
2.2.1. <u>Testes Estatísticos</u>	39
2.2.1.a <u>Mann-Whitney</u>	39
2.2.1.b <u>Boxplot</u>	39
2.3. Parâmetros Coletivos Específicos	41
2.3.1. <u>Biodegradabilidade Aeróbia</u>	41
2.3.2. <u>Carboidratos</u>	43
2.3.3. <u>Lipídeos</u>	44
2.3.4. <u>Proteínas</u>	45
2.3.5. <u>Substâncias Húmicas</u>	47
2.4. Toxicidade	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.1. Caracterização do lixiviado por Parâmetros Coletivos Não-Específicos	52
3.1.1. <u>Segunda Etapa</u>	61
3.2. Biodegradabilidade Aeróbia	62
3.3. Determinação de Parâmetros Coletivos Específicos	67
3.3.1. <u>Carboidratos</u>	68
3.3.2. <u>Lipídeos</u>	69

3.3.3.	<u>Proteínas</u>	71
3.3.4.	<u>Substâncias Húmicas</u>	73
3.4.	Toxicidade	76
4.	CONCLUSÕES	81
4.1	Sugestões para trabalhos futuros	82
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXO A - Parâmetros físico-químicos do lixiviado bruto nas 2 etapas de monitoramento.....	93
	ANEXO B - Parâmetros físico-químicos do efluente do processo primário (físico-químico) nas 2 etapas de monitoramento	94
	ANEXO C - Parâmetros físico-químicos do efluente do processo secundário (PLA) nas 2 etapas de monitoramento	95
	ANEXO D - Gráficos referentes aos valores de DQO nos reatores aeróbios e seus respectivos percentuais de biodegradabilidade	96
	ANEXO E - Curvas de Calibração construídas para a absorvância de SH	98
	ANEXO F - Curvas de Calibração construídas para a absorvância de proteínas	99