



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

Quézia Sant´Ana da Silva

**Estudo da contaminação e da toxicidade do solo do Aterro
Metropolitano de Gramacho, Duque de Caxias – RJ**

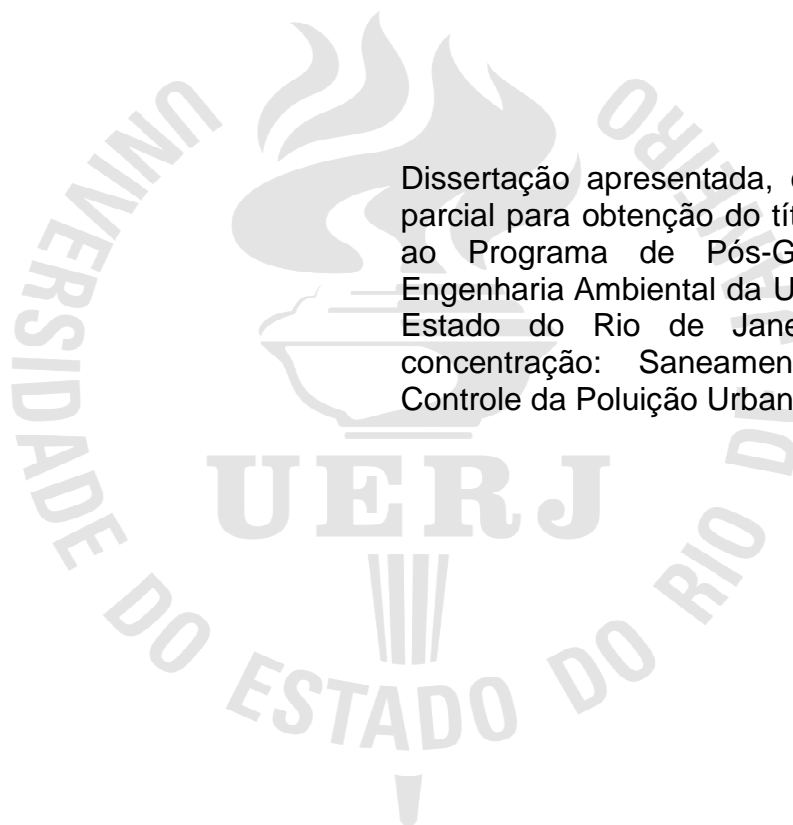
Rio de Janeiro

2013

Quézia Sant'Ana da Silva

**Estudo da contaminação e da toxicidade do solo do Aterro Metropolitano de
Gramacho, Duque de Caxias – RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial 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: Saneamento Ambiental: Controle da Poluição Urbana e Industrial.



Orientadora: Prof.^a Dr.^a Elisabeth Ritter

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

Rio de Janeiro

2013

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

S586 Silva, Quézia Sant'Ana da.
Estudo da contaminação e da toxicidade do solo do
Aterro Metropolitano de Gramacho, Duque de Caxias – RJ
/ Quézia Sant'Ana da Silva. - 2013.
101fl.: il.

Orientador Elisabeth Ritter.
Coorientadora: Daniele Maia Bila.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Aterro sanitário -
Dissertações. 3. Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ) -
Dissertações. I. Ritter, Elisabeth. II. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.472.3

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

Assinatura

Data

Quézia Sant'Ana da Silva

Estudo da contaminação e da toxicidade do solo do Aterro Metropolitano de Gramacho, Duque de Caxias – RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial 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: Saneamento Ambiental: Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em: 11 de abril de 2013.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Elisabeth Ritter (Orientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

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

Prof.^a Dr.^a Celina Aída Bittencourt Schmidt
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Maria Claudia Barbosa
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE

Rio de Janeiro

2013

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim.

Agradecimentos

A minha orientadora, Elisabeth Ritter, e a minha coorientadora, Daniele Maia Bila, por toda a orientação e grande atenção dispensadas;

Aos professores Camille Manarinno e João Alberto Ferreira, por terem contribuído de forma decisiva para o meu despertar para a problemática dos resíduos sólidos, pelos ensinamentos em aula e em conversas informais;

Às professoras Celina Schmidt e Maria Claudia Barbosa, por terem aceitado o convite para fazerem parte da banca;

À COMLURB, pela colaboração na coleta das amostras;

A Fernando Braile e Diogo Arantes, pela ajuda na compreensão das modificações pelas quais o local de estudo passou;

Aos técnicos Rita de Cássia Fernandes e Sidney Gomes, por todos os ensinamentos e ajuda nas análises físico-químicas realizadas em laboratório;

À Jarina Couto, pela ajuda na determinação de carbono orgânico total;

À Ana Dalva Santos e Marília Nascimento, pela ajuda na construção do mapa;

À Raquel Orem, por me ensinar e ajudar com os ensaios de toxicidade aguda;

Aos alunos de Iniciação Científica, especialmente Patrícia Constantino, Karina Mota e Patrícia Maciel, por todo trabalho de apoio que realizaram, pela responsabilidade e presteza;

A João Carlos Escosteguy Filho, meu namorado, por ter me dado um apoio incondicional em todos os momentos da execução deste trabalho, inclusive me acompanhando nas idas ao campo e tendo paciência nos meus momentos difíceis;

Aos meus pais, Romilda Campos e Helcio Batista, que me apoiaram e acreditaram em mim sempre;

Ao professor Vitor Quintanilha, por todos os ensinamentos escolares, pelas reflexões para além dos conhecimentos escolares e por toda a ajuda;

A Deus, por ter estado comigo em todo o tempo, tornando tudo possível.

Vi ontem um bicho
Na imundície do pátio
Catando comida entre os detritos.

Quando achava alguma coisa,
Não examinava nem cheirava:
Engolia com voracidade.

O bicho não era um cão,
Não era um gato,
Não era um rato.

O bicho, meu Deus, era um homem
Manuel Bandeira, “O Bicho”.

RESUMO

SILVA, Quézia Sant'Ana da. **Estudo da contaminação e da toxicidade do solo do Aterro Metropolitano de Gramacho, Duque de Caxias – RJ.** 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

O Aterro Metropolitano de Gramacho, considerado o maior da América Latina, teve encerradas as suas atividades de disposição de resíduos em meados de 2012. A disposição de resíduos no local foi realizada diretamente sobre o solo de fundação desde o início de sua operação (1978). Considerando-se que os contaminantes presentes no lixiviado podem migrar por difusão através da argila organo-salina do aterro e atingir o entorno, foi feita uma investigação da contaminação do solo no perímetro do aterro. Essa investigação foi realizada no líquido intersticial do solo e foi pautada em dois tipos de contaminantes: nitrogênio amoniacal e compostos orgânicos, medidos pelo parâmetro carbono orgânico total (COT). Além disso, foram também realizados ensaios de toxicidade aguda com a espécie *Vibrio fischeri* para avaliar a toxicidade no solo. Ensaios de sorção e difusão foram executados a fim de melhor compreender o comportamento dos contaminantes investigados. Os resultados apontaram baixos valores de nitrogênio amoniacal e de COT no solo. Os valores de nitrogênio amoniacal são considerados baixos, pois mesmo em amostras de solo da barreira lateral, que é situada próxima à antiga vala de drenagem de lixiviado, estes são menores que 1% do encontrado no lixiviado, indicando a adsorção do solo. Os ensaios de toxicidade aguda apontaram o efeito Hormesis nas amostras de líquido intersticial, indicando a possibilidade de presença de toxicidade crônica.

Palavras-chave: Contaminação do solo; Lixiviado; Nitrogênio amoniacal; Carbono Orgânico Total; Toxicidade aguda.

ABSTRACT

SILVA, Quézia Sant'Ana da. **Study of contamination and toxicity of Gramacho metropolitan landfill soil, Duque de Caxias - RJ.** 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The Gramacho Metropolitan Landfill, considered the largest in Latin America, had closed their waste disposal activities in mid 2012. The waste disposal was performed directly on the foundation soil since the beginning of its operation (1978). Considering that the contaminants present in the leachate can migrate by diffusion through the organo-saline clay of the landfill and reaches surroundings, an soil contamination investigation was made at the perimeter of the landfill. This research was conducted in the interstitial liquid of the soil and was based on two types of contaminants: ammoniacal nitrogen and organic recalcitrant compounds, parameter measured by total organic carbon (TOC). Moreover, acute toxicity assays was also performed with the species *Vibrio fischeri* to assess toxicity in the soil. Sorption and diffusion assays were performed to better understand the behavior of contaminants investigated. The results showed low levels of ammoniacal nitrogen and TOC in the soil. Ammoniacal nitrogen values are surprisingly low, because even in soil samples from the side barrier, which is situated adjacent to the drainage ditch leachate, these are less than 1% that found in leachate, indicating the soil adsorption. The acute toxicity assays showed the effect Hormesis in interstitial liquid samples, indicating the possibility of the presence of chronic toxicity.

Keywords: Soil contamination; Leachate; Ammoniacal nitrogen; Total organic carbon. Acute toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Aterro Metropolitano de Gramacho no ano de 1980. Fonte: COMLURB (1980)	39
Figura 2.2	Aterro Metropolitano de Gramacho no ano de 1995. Fonte: COMLURB (1995)	40
Figura 2.3	Esquema em seção transversal da posição do dique de contenção (Barreira Lateral) e da vala lateral. Fonte: RITTER et al, 2001.	40
Figura 2.4	Construção da barreira lateral com argila local no ano de 1996. Fonte: COMLURB	40
Figura 2.5	Construção da drenagem lateral. Fonte: BRAILE, 2013.	41
Figura 2.6	Finalização da construção da drenagem lateral. Fonte: BRAILE, 2013.	41
Figura 2.7	Cobertura da vala lateral. BRAILE, 2013.	41
Figura 2.8	Aterro Metropolitano de Gramacho no ano de 2002. Fonte: COMLURB.	42
Figura 2.9	Aterro Metropolitano de Gramacho no ano de 2010. Fonte: COMLURB.	42
Figura 3.1	Mapa do Aterro Metropolitano de Gramacho com os pontos de coleta indicados. Fonte: IBGE, 2007.	49
Figura 3.2	Ponto Barreira Lateral 1, onde foram feitas as coletas em janeiro e em maio de 2012.	50
Figura 3.3	Aspecto da área do mangue de onde foram retiradas as amostras de solo em maio de 2012 no Trecho 1.	51
Figura 3.4	Aspecto da área do mangue de onde foram retiradas as amostras de solo em maio de 2012 no Trecho 2.	51
Figura 3.5	Terceira coleta de amostras em solo mais profundo no Trecho 3 da barreira lateral em agosto de 2012.	52
Figura 3.6	Prensa Hidráulica	53
Figura 3.7	Foto dos frascos com as amostras sendo agitados no shaker.	56
Figura 3.8	Foto dos frascos com as amostras após agitação em shaker.	57
Figura 3.9	Célula de difusão montada.	58
Figura 3.10	Foto do fatiamento da massa de solo da célula de difusão.	59
Figura 3.11	Foto da fatia da massa de solo em plástico-filme.	59
Figura 4.1	Concentrações de cloreto nos pontos B1 e B3 da barreira lateral.	61
Figura 4.2	Concentrações de sódio nos pontos B1 e B3 da barreira lateral.	62

Figura 4.3	Concentrações de cálcio nos pontos B1 e B3 da barreira lateral.	63
Figura 4.4	Concentrações de COT na barreira lateral.	64
Figura 4.5	Concentrações de nitrogênio amoniacal na barreira lateral.	65
Figura 4.6	Concentrações de potássio na barreira lateral.	67
Figura 4.7	Concentrações de cloreto e de sódio nas amostras de solo de trechos do mangue.	68
Figura 4.8	Concentrações de cálcio nas amostras de solo de trechos do mangue.....	69
Figura 4.9	Concentrações de COD e COT nas amostras de solo de trechos do mangue	70
Figura 4.10	Concentrações de nitrogênio amoniacal nas amostras de solo de trechos do mangue.	71
Figura 4.11	Concentrações de potássio nas amostras de solo de trechos do mangue.	71
Figura 4.12	Sorção do sódio.....	74
Figura 4.13	Sorção do cálcio.	75
Figura 4.14	Sorção do carbono orgânico total.	76
Figura 4.15	Sorção do nitrogênio amoniacal.....	76
Figura 4.16	Sorção do potássio.	77
Figura 4.17	Evolução da concentração do cloreto no reservatório	78
Figura 4.18	Perfil das concentrações do cloreto no solo	78
Figura 4.19	Evolução da concentração do sódio no reservatório	79
Figura 4.20	Perfil das concentrações do sódio no solo.	79
Figura 4.21	Evolução da concentração do cálcio no reservatório	80
Figura 4.22	Perfil das concentrações do cálcio no solo.....	80
Figura 4.23	Perfil das concentrações do no solo.	81
Figura 4.24	Evolução da concentração do nitrogênio amoniacal no reservatório	82
Figura 4.25	Perfil das concentrações do nitrogênio amoniacal no solo.	82
Figura 4.26	Evolução da concentração do potássio no reservatório.....	83
Figura 4.27	Perfil das concentrações do potássio no solo.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	- Caracterização físico-química de lixiviados de aterros de diversos países no mundo apresentada por CHRISTENSEN, et al (2001).	21
Tabela 1.2	- Caracterização físico-química de lixiviados de aterros brasileiros apresentada em estudo realizado por SOUTO e POVINELLI (2007).	22
Tabela 1.3	- Compostos Orgânicos Xenobióticos mais frequentemente encontrados em lixiviados de aterros em diversos países no mundo apresentados no estudo de Christensen et al (2001).....	23
Tabela 1.4	- Composição química de lixiviados do Lixão de Altamira, do Aterro de Gericinó e do Aterro Sanitário de Belo Horizonte.	24
Tabela 1.5	- Valores de CL50 ou CE50 obtidos para o lixiviado bruto do Aterro Metropolitano de Gramacho.	25
Tabela 2.1	- Caracterização geotécnica do solo.....	43
Tabela 2.2	- Caracterização físico-química da solução intersticial do solo e da água do mar.....	44
Tabela 2.3	- Caracterização físico-química da solução intersticial extraída das amostras de solo.	44
Tabela 2.4	- Caracterização físico-química de amostras de lixiviado.	45
Tabela 2.5	- Valores de sorção das espécies químicas investigadas.	45
Tabela 3.1	- Identificação dos pontos de amostragem de acordo com a localização.	47
Tabela 3.2	- Utilização das amostras de acordo com os meses.	48
Tabela 3.3	- Parâmetros determinados e seus respectivos métodos em APHA, AWWA, WEF (2005).....	54
Tabela 4.1	- Caracterização de amostras de lixiviado entre os meses de agosto de 2011 e maio de 2012.	60
Tabela 4.2	- Valores de COT medidos nos sólidos de amostras de solo.....	71
Tabela 4.3	- Caracterização físico-química do lixiviado e do líquido intersticial utilizado nos ensaios.	72
Tabela 4.4	- Valores de CE50, COT e NA (Nitrogênio Amoniacal) das amostras do lixiviado bruto, dos líquidos intersticiais das 4 fatias de solo do ensaio de difusão e do líquido intersticial do solo utilizado no ensaio.	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Ag	Prata
C ₀	Concentração inicial
Ca	cálcio
Cd	Cádmio
C _e	Concentração de equilíbrio
CE50	Concentração Efetiva Média que causa imobilidade a 50% dos organismos-teste
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl ⁻	cloreto
CL50	Concentração que causa letalidade a 50% dos organismos-teste
COD	Compostos Orgânicos Dissolvidos
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPPE / UFRJ	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
COT	Carbono Orgânico Total
CTC	capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
D _e	Coeficiente de difusão molecular
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
H	Hidrogênio
H ₂ O	Água
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	potássio
LES	Laboratório de Engenharia Sanitária
M	Massa

Mg	magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NA	Nitrogênio Amoniacal
Na	sódio
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NH ₃	Amônia volátil
NH ₄ ⁺	Amônio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₂	Oxigênio
Pb	Chumbo
S	Quantidade de soluto adsorvida por massa de adsorvente
SS	Sólidos Suspensos
V	volume
Zn	Zinco

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	16
1	REFERENCIAL TEÓRICO	19
1.1	A problemática da destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos	19
1.2	Caracterização de lixiviados	20
1.2.1	<u>A presença de orgânicos no lixiviado</u>	22
1.2.2	<u>Nitrogênio amoniacal no lixiviado</u>	24
1.2.3	<u>Toxicidade Aguda</u>	25
1.3	Transporte de Contaminantes	27
1.4	Mecanismos de Interação Solo – Contaminante	28
1.4.1	<u>Adsorção</u>	29
1.4.2	<u>Precipitação</u>	31
1.4.3	<u>Complexação</u>	31
1.4.4	<u>Ação biológica</u>	31
1.5	A relação entre os contaminantes nitrogênio amoniacal e COT presentes no lixiviado e o solo	32
1.5.1	<u>Nitrogênio Amoniacal</u>	32
1.5.2	<u>Carbono Orgânico</u>	34
1.6	Regulamentação relativa à contaminação por disposição inadequada de resíduos sólidos	36
2	LOCAL DE ESTUDO: O ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO	38
2.1	Caracterização do solo de fundação do Aterro Metropolitano de Gramacho	42
2.2	Composição do Líquido Intersticial e do Lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho	43
2.3	Ensaio de sorção realizados com solo e lixiviado locais	45
2.4	Ensaio de difusão realizados com solos e lixiviados locais	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	Coletas e preservação das amostras de solo	47
3.2	Extração do líquido intersticial	52
3.3	Caracterização físico-química do líquido intersticial do solo	53
3.4	Ensaio de toxicidade aguda com a bactéria marinha <i>Vibrio fischeri</i>	54

3.5	Ensaio de Equilíbrio em Lote (Batch Test) - (EPA/530/SW-87/006-F, 1992).....	55
3.5.1	<u>Determinação da quantidade de soluto sorvido (espécie química) por massa de solo</u>	57
3.6	Ensaio de Difusão	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1	Caracterização do Lixiviado Bruto do Aterro Metropolitano de Gramacho	60
4.2	Composição química do líquido intersticial do solo da barreira lateral	61
4.3	Composição química do líquido intersticial do solo do mangue.....	67
4.4	Medições de COT nos sólidos do solo.....	71
4.5	Caracterização das amostras de lixiviado e de líquido intersticial utilizadas nos ensaios de sorção, difusão e toxicidade aguda.	72
4.6	Ensaio de Sorção	73
4.7	Difusão	77
4.8	Toxicidade aguda: <i>Vibrio fischeri</i>	84
4.8.1	<u>Lixiviado e ensaios de difusão.....</u>	84
4.8.2	<u>Amostras de líquido intersticial das amostras do solo coletadas em agosto.</u>	86
5	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS.....	89