



Daniel Gomes da Costa

**Caracterização de solos tropicais com
diferentes texturas para estudos
de volatilização do herbicida 2,4-D**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil do
Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos
Co-orientador: Prof. Tomaz Langenbach

Rio de Janeiro
Julho de 2015



Daniel Gomes da Costa

Caracterização de solos tropicais com diferentes texturas para estudos de volatilização do herbicida 2,4-D

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Tomaz Langenbach

Co-orientador

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof^a. Adriana Haddad Nudi

Departamento de Química – PUC-Rio

Dr^a. Thais Cristina Campos de Abreu

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Maria Cláudia Barbosa

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de julho de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

Daniel Gomes da Costa

Graduou-se em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2010. Estagiou e trabalhou na área de obras e de projetos em ferrovias no período 2010-2011. Ingressou no mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia em 2012. Trabalhou na área de instrumentação em obras metroviárias em 2015. Principais áreas de interesse e linhas de pesquisa: Geotecnia Ambiental, Geotecnia Experimental e Mecânica dos Solos.

Ficha Catalográfica

da Costa, Daniel Gomes

Caracterização de solos tropicais com diferentes texturas para estudos de volatilização do herbicida 2,4-D / Daniel Gomes da Costa; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos; Co-orientador: Tomaz Langenbach. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2015.

161 f. : il. (color.) ; 30 cm

1. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia civil – Teses. 2. Volatilização. 3. Solos Superficiais. 4. Solos Não Saturados. 5. Ensaios de Laboratório. I. de Campos, Tácio Mauro Pereira. II. Langenbach, Tomaz. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Para os meus pais, Angela e Joel

Agradecimentos

A CAPES e PUC-Rio pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao orientador que procurou me passar seus conhecimentos e experiências profissionais, no sentido de contribuir no enriquecimento deste trabalho.

Ao co-orientador que se mostrou sempre disponível em contribuir na parte experimental e de esclarecer dúvidas sobre a volatilização.

A professora da PUC-Rio Adriana Haddad e a Lilian do LABMAM, sem as quais este trabalho não seria concluído. Suas contribuições na parte analítica foram essenciais.

Ao professor Franklin dos Santos Antunes pela paciência e disponibilidade em compartilhar seu conhecimento.

Aos técnicos do LGMA da PUC-Rio, Amaury e Josué pelo auxílio.

Ao técnico de campo André Barros pelo apoio técnico.

Ao Ricardo Gonçalves Cesar por todo apoio e suporte na execução do ensaio ecotoxicológico.

Ao Renato Borges do CESTEHE da Fiocruz, por suas orientações sobre como trabalhar em um laboratório de Química e pela disposição em dar suporte sempre que fosse necessário.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e do Campus avançado da PUC-Rio em Tinguá pelos ensinamentos e por toda a ajuda concedida.

Ao meu orientador da graduação e pesquisador da Embrapa Solos, Aluísio Granato de Andrade por ter colaborado na escolha dos solos estudados.

Ao Leonardo da Secretaria de Agricultura do Rio de Janeiro por ter disponibilizado a solução comercial do herbicida de estudo.

Aos meus pais por todo o sacrifício realizado para que eu tivesse a melhor formação possível. A Angela pelo seu amor incondicional. Ao Joel pelo amor e essencial suporte nestes últimos anos. Sem sua presença não teria condições de

finalizar este trabalho.

Ao avô Edcy por ser um exemplo de caráter. A avó Ione pelo carinho de sempre. A avó Aparecida, tia Yedda e madrinha Valéria pelo apoio nos momentos difíceis.

Aos amigos do mestrado Sandra, Samuel, Alena e Rhaissa pelo apoio. Agradecimento especial a Camyla M. Oliveira pela amizade e companheirismo desde os tempos de graduação.

Aos amigos que convivo há anos, em especial a Paula Huf, Gustavo Franqueira, Mariana Martins, entre outros, pelos constantes desabafos e pelo carinho.

Ao eterno amigo e professor Carlos Raja Gabaglia Penna por ser um exemplo de profissional e de humildade.

Resumo

Da Costa, Daniel Gomes; de Campos, Tácio Mauro Pereira; Langenbach, Tomaz. **Caracterização de solos tropicais com diferentes texturas para estudos de volatilização do herbicida 2,4-D**. Rio de Janeiro, 2015. 161 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os agrotóxicos são utilizados principalmente nas lavouras e se dispersam no ambiente após aplicação, interferindo na qualidade do ar através da volatilização. Esta é influenciada pelas características do solo, características do agrotóxico, condições climáticas, cobertura vegetal e manejo agrícola. O objetivo deste trabalho foi caracterizar com parâmetros geotécnicos quatro solos de diferentes texturas que serviram de base para estudos preliminares de volatilização do herbicida 2,4-D. As propriedades de cada solo são importantes para identificar quais os parâmetros que mais influenciam na volatilização. Estudos foram feitos para desenvolver a metodologia de medição e pesquisar variações de manejo que resultem na menor perda por volatilização. A metodologia adotada utilizou microcosmos preenchidos com os solos previamente acondicionados, simulando a densidade natural. Após a aplicação do 2,4-D, os produtos voláteis foram captados por um processo de aspiração suave para uma resina XAD-2 capaz de sorver o herbicida. O sistema não é fechado para evitar distorções ambientais na temperatura, umidade e no vento, de forma a simular as condições naturais do ambiente. A extração do 2,4-D na resina foi feita pela extração com diclorometano e N-hexano (1:1) e sua quantificação foi realizada através da análise em cromatógrafo líquido com detector UV. A abordagem experimental mostrou que a metodologia utilizada permite grande perda pela ação dos ventos, requerendo um aperfeiçoamento metodológico. Os experimentos em campo foram conduzidos com quatro solos distintos do Rio de Janeiro em que a exposição do herbicida 2,4-D foi feita em duas sucessões distintas: uma com aplicação no início do dia – noite e a outra com aplicação no início da noite – dia, ambas com exposição de 24 horas. Nos cromatogramas das amostras com exposição ao sol foi observado, além do 2,4-D, outro composto em concentrações maiores, indicando possível metabólito. Foi observado que o efeito da umidade intersticial é preponderante sobre os outros parâmetros do solo, como o teor de matéria

orgânica, e a volatilização foi maior nos experimentos que começaram no início da manhã comparados aos experimentos iniciados no final da tarde. A captação de voláteis somando os valores medidos na resina e nas espumas de poliuretano mostraram que a máxima volatilização foi no solo arenoso de Tinguá no turno da manhã, enquanto que o mínimo foi no turno da tarde para o mesmo solo. A redução de produtos volatilizados não é só um prejuízo na perda do produto, mas sobretudo uma redução da contaminação aérea, que poderá reduzir a exposição da flora e fauna, assim como a saúde humana.

Palavras-chave

Volatilização; herbicida; 2,4-D; contaminação aérea; solos não saturados; ensaios de laboratório.

Abstract

Da Costa, Daniel Gomes; de Campos, Tácio Mauro Pereira (Advisor); Langenbach, Tomaz (Co-advisor). **Characterization of tropical soils with different textures for volatilization studies of the herbicide 2,4-D.** Rio de Janeiro, 2015. 161 p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Pesticides are mainly used in crops and are dispersed into the environment, affecting the quality of the air by volatilization. This is influenced by the characteristics of the soil, pesticide properties, climate conditions, vegetation and agricultural management. It was performed geotechnical characterization in four different soil textures to use them for preliminary studies of 2,4-D's volatilization. The properties of each soil are important to identify the parameters that most influence the volatilization. Studies have been done to develop the measurement methodology and to study management changes that result in reduced volatilization loss. In microcosm filled with soils simulating natural density was applied the herbicide 2,4-D in field concentrations. Volatilization products were captured by a gentle aspiration device with a XAD-2 resin. The system is not closed to prevent environmental distortions of temperature, umidity and wind, in order to simulate the natural conditions of the environment. The 2,4-D extraction of the resin was performed by extraction with dichloromethane and n-hexane (1:1) and quantification was performed by analyzing a liquid chromatograph with UV detector. The experimental methodology used needs to be improved to have a higher capture efficiency with wind loss reduction. The field experiments were conducted with four different soils of Rio de Janeiro state where exposure of 2,4-D herbicide was made in two separate sequences: one application earlier in the morning and the other application in the late evening, both with 24 hours exposure. In the chromatograms of all samples with sun exposure was observed, in addition to 2,4-D, another compound with higher concentrations indicating a possible photodegradation metabolite. It was observed that the effect of interstitial moisture is predominant over other soil parameters and volatilization was higher in the early morning experiments compared to the experiments started in the late afternoon. Considering the sum of XAD-2 resin and PUF, the maximum

volatilization at 24 hour exposure was in the sandy soil of Tinguá during the morning shift, while the minimum was in the afternoon for the same soil. The reduction of volatilized products is not only a manner to enhance agronomic efficiency but mainly to reduce air pollution with a decrease of toxic effects on flora and fauna as well in human health.

Keywords

Volatilization; herbicide; 2,4-D; air pollution; unsaturated soils; laboratory tests.

Sumário

1	Introdução	23
1.1.	Objetivos da dissertação	24
1.2.	Escopo do trabalho	26
2	Revisão Bibliográfica	27
2.1.	O uso do agrotóxico na agricultura e suas classificações	27
2.2.	O agronegócio e o mercado de herbicidas no Brasil	30
2.3.	Problemas decorrentes do uso de agrotóxicos	34
2.4.	Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético	37
2.5.	Movimento dos herbicidas no solo	42
2.5.1.	Processos de retenção	45
2.5.1.1.	Sorção	45
2.5.1.2.	Interação Hidrofóbica	51
2.5.1.3.	Grau de ionização e capacidade de troca iônica	53
2.5.2.	Processos de transformação	55
2.5.3.	Processos de transporte	57
2.5.3.1.	Volatilização	58
3	Materiais e Método	66
3.1.	Localização dos pontos de amostragem	66
3.1.1.	Características da amostra 1	67
3.1.2.	Características das amostras 3 e 4	68
3.1.3.	Características da amostra 5	71
3.1.4.	Homogeneização dos materiais	72
3.2.	Localização do experimento de campo	73
3.3.	Programação de ensaios	75
3.3.1.	Caracterização Física	75
3.3.2.	Ensaio de compactação	76
3.3.3.	Caracterização Química-Mineralógica	77
3.3.4.	Ensaio Hidráulico	78

3.4. Desenvolvimento e validação do método para análise do 2,4-D	80
3.4.1. Soluções padrões do 2,4-D	81
3.4.2. Testes de eficiência de adsorção e desorção do XAD-2	82
3.4.3. Validação analítica	84
3.5. Experimentos de volatilização	88
3.5.1. Volatilização no campo	92
3.5.2. Volatilização em sistema fechado	94
3.5.3. Determinação da perda de volatilização em sistema aberto	95
3.6. Biodisponibilidade através da abordagem ecotoxicológica	96
4 Resultados	100
4.1. Características Físicas	100
4.1.1. Análise Granulométrica	100
4.1.2. Limites de Atterberg	101
4.1.3. Índices físicos médios	102
4.1.4. Classificação dos solos – SUCS	102
4.1.5. Densidade in situ dos materiais	103
4.2. Ensaio de compactação	103
4.3. Caracterização Química-Mineralógica	106
4.3.1. Teor de matéria orgânica	106
4.3.2. Teor de carbono orgânico	106
4.3.3. Determinação do pH	107
4.3.4. Difração por Raios-X (DRX)	107
4.3.5. Lupa Binocular	110
4.4. Características Hidráulicas	113
4.4.1. Porosimetria de Mercúrio	113
4.4.2. Curvas Características de Sucção	115
4.5. Condições climáticas	117
4.6. Experimentos de volatilização	120
4.6.1. Volatilização no campo	121
4.6.2. Volatilização em sistema fechado	125
4.6.3. Determinação da perda de volatilização em sistema aberto	126
4.7. Bioensaio agudo com oligoquetas	127

5 Discussão	131
5.1. Desenvolvimento metodológico	131
5.2. Volatilização no campo	133
5.3. Efeitos climáticos sobre volatilização	134
5.4. Características do solo na volatilização	136
5.5. Considerações finais	138
6 Conclusão e sugestões	140
6.1. Conclusão	140
6.2. Sugestões	141
Referências Bibliográficas	142

Lista de figuras

Figura 1 - Gráfico da participação de vendas de herbicidas por ingrediente ativo no Brasil em 2010/2011 (Anvisa, 2012).	31
Figura 2 - Gráfico do consumo anual dos principais ingredientes ativos de agrotóxicos no Brasil entre 2000 e 2009 (IBAMA, 2010).	33
Figura 3 - Evolução da produção de grãos e da área plantada, de 1992 a 2013, além da previsão para 2014 para algodão, amendoim, arroz, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, culturas de inverno, trigo e triticale (MAPA, 2013)	34
Figura 4 - Gráfico da área colhida e produção nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas no período de 2001 a 2012 (IBGE, 2013)	34
Figura 5 - Fórmula estrutural do ácido 2,4-D (ANVISA, 2003)	38
Figura 6 - Comportamento de herbicidas no solo (Adaptado de: Lavorenti <i>et al</i> , 2003)	43
Figura 7 – Destinos do agrotóxico aplicado na agricultura. (Wolters, 2003)	44
Figura 8 - Grau de dissociação do 2,4-D em função do pH (α_0 composto não dissociado; α_1 composto apresentando dissociação (Amarante Jr <i>et al</i> , 2002))	50
Figura 9 - Classificação de compostos orgânicos em relação a polaridade e carga (McBride, 1994)	52
Figura 10 - Esquema do processo de difusão de pesticidas entre solo e atmosfera (Wolters, 2003)	61
Figura 11 - Resíduos de agrotóxicos encontrados em residências em Iowa, USA (AHS, 2007)	65
Figura 12- Localização do ponto de coleta do solo 1	67
Figura 13 - Aspecto geral do ponto de coleta do solo 1	68
Figura 14 - Localização dos pontos de coleta dos solos 3 e 4	69
Figura 15 - Aspecto geral do ponto de coleta da amostra 3	70
Figura 16 - Aspecto geral do ponto de coleta da amostra 4	70
Figura 17 - Localização dos pontos de coleta do solo 5	71
Figura 18 - Aspecto geral do ponto de coleta da amostra 5	72

Figura 19 - Sequência do processo de quarreamento do solo 1	73
Figura 20 - Mapa de localização do campus avançado da PUC-RIO (adaptado de: Mapa Rodoviário do Estado do Rio de Janeiro, DNIT 2002; Mapa do Rio de Janeiro, CEPERJ 2010)	74
Figura 21 - Estação Meteorológica Automatizada <i>Campbell SCI</i>	74
Figura 22 - Cromatograma das soluções padrão do 2,4-D em concentrações de 0,1 a 30 $\mu\text{g.ml}^{-1}$ para formar a curva de calibração do dia 10/11/2014.	82
Figura 23 - Método de extração do 2,4-D das amostras em XAD-2 (Adaptado de: Dos Santos <i>et al</i> , 2011)	83
Figura 24 - Curva analítica do dia 10-11 (0,1 a 30 $\mu\text{g.ml}^{-1}$)	87
Figura 25 - Curva analítica do dia 11-11 (0,1 a 30 $\mu\text{g.ml}^{-1}$)	88
Figura 26 - Curva analítica do dia 12-11 (0,1 a 30 $\mu\text{g.ml}^{-1}$)	88
Figura 27 - Esquema e distribuição das colunas de PVC. Na figura (a), as colunas se encontram invertidas, com sua base mostrada para cima	90
Figura 28 - Esquema do microcosmo utilizado no experimento em Tinguá	92
Figura 29 - Experimento em Tinguá no dia 23/10/2014	93
Figura 30 – Locais das amostras nos experimentos em Tinguá.	94
Figura 31 - Experimento em sistema fechado no terraço do LGMA	95
Figura 32 - Experimento em sistema aberto em Tinguá	96
Figura 33 - Execução do ensaio de CRA	98
Figura 34 - Curvas granulométricas dos materiais em estudo	100
Figura 35 - Curvas de compactação e valores da umidade ótima dos materiais	105
Figura 36 - Gráfico entre massa específica seca (g/cm^3) e número de golpes de cada solo estudado	105
Figura 37- Difratoograma da amostra de solo 1 passante na peneira #200 (Q: Quartzo)	108
Figura 38 - Difratoograma da amostra de solo 3 passante na peneira #200 (Gb: Gibsite; Q: Quartzo)	108
Figura 39 - Difratoograma da amostra de solo 4 passante na peneira #200 (Ct: Caulinita, Gb: Gibsite; Gt: Goetita; Q: Quartzo)	109
Figura 40 - Difratoograma da amostra de solo 5 passante na peneira #200 (Ct: Caulinita; Gt: Goetita; Q: Quartzo)	109
Figura 41 - Caracterização mineralógica do material 1 nas frações pedregulho e	

areia.	110
Figura 42 - Caracterização mineralógica do solo 3 nas frações pedregulho e areia.	111
Figura 43 - Caracterização mineralógica do solo 4 nas frações pedregulho e areia.	112
Figura 44 - Caracterização mineralógica do solo 5 nas frações pedregulho e areia	113
Figura 45 - Distribuição acumulativa dos diâmetros dos poros para os solos analisados	114
Figura 46 - Resultados dos ensaios de porosimetria de mercúrio para os solos em estudo	114
Figura 47 - Curva de retenção do solo 3	116
Figura 48 - Curva de retenção do solo 4	116
Figura 49 - Curva de retenção do solo 5	117
Figura 50 - Média horária da temperatura para os dias 09, 10, 11, 23, 24 e 25 de Outubro de 2014	118
Figura 51 - Média horária da velocidade dos ventos para os dias 09, 10, 11, 23, 24 e 25 de Outubro de 2014	119
Figura 52 - Média horária da umidade relativa do ar para os dias 09, 10, 11, 23, 24 e 25 de Outubro de 2014	119
Figura 53 - Cromatogramas das amostras para identificação do 2,4-D	120
Figura 54 – Exemplo do cromatograma de uma amostra de campo para identificação do composto de 11,5 minutos	125
Figura 55 - Níveis de biomassa de <i>Eisenia andrei</i> expostas aos solos puros em bioensaio agudo e barras de erro correspondem a desvios-padrão.	128
Figura 56 - Comparação entre níveis de biomassa de <i>Eisenia andrei</i> expostas aos solos puros e solos tratados com 2,4-D em bioensaio agudo, e barras de erro correspondem a desvios-padrão.	129
Figura 57 - Capacidade de retenção de água e de pH dos solos utilizados no estudo, e barras de erro correspondem a desvios-padrão.	130
Figura 58 - Alterações morfológicas apresentadas por adultos após 14 dias de exposição ao 2,4-D (Adaptado de: Nunes, 2010).	130
Figura 59 – Possíveis reações a fotólise do 2,4-D (Boval & Smith, 1973)	134

Figura 60 - Cartuchos de XAD-2, fabricante SKC, ref. 226-58 158

Figura 61 - Cromatógrafo LC-10AD (aparelho inferior), detector UV-VIS (aparelho intermediário) e controlador de sistema (aparelho superior), à esquerda. Coluna C18 acoplada a pré-coluna, à direita. 159

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação dos grupos de pesticidas segundo praga combatida (Waxman, 1998)	28
Tabela 2.2 - Classificação de herbicidas quanto ao grupo químico (adaptado de Queiroz, 2007)	29
Tabela 2.3 - Classificação de pesticidas quanto ao grau de persistência (adaptado de Queiroz, 2007).	30
Tabela 2.4 – Propriedades químicas do 2,4-D (dados NTP, exceto (a): Amarante Jr <i>et al</i> , 2002; (b): NPIC, 2008; (c): TOXNET, 2013; (d): Almeida & Rodrigues, 1988; (e): British Crop Protection Council, 1994; (f): Rice <i>et al</i> , 1997; (g): Suntio <i>et al</i> , 1988; (h): EPA, 2005; (i): Primel <i>et al</i> , 2005; (j): Kennepohl & Munro, 2001; (k): WHO,2003; (l): IPCS-INCHEM, 2013).	40
Tabela 2.5 - Tamanho e área superficial de partículas do solo, segundo a Sociedade Internacional da Ciência do Solo	46
Tabela 2.6 - Relações entre pH da solução do solo e pKa do herbicida, onde [M] é forma não dissociada (moléculas) e [MA] forma dissociada (aniônicas). (Oliveira & Brighenti, 2011)	55
Tabela 2.7 - Principais parâmetros que influenciam a volatilização do solo (Adaptado de: Wolters, 2003)	59
Tabela 2.8 - Perdas totais máximas de pesticidas sob condições agrícolas normais. (Oliveira Jr, 2002; Plimmer, 1992)	63
Tabela 3.1- Localização, coordenadas e textura das amostras	67
Tabela 3.2 - Condições cromatográficas otimizadas	84
Tabela 3.3- Teste de repetibilidade do equipamento em dias distintos	86
Tabela 3.4- Média da recuperação de quatro concentrações de 2,4-D	86
Tabela 3.5 –Indicações registradas do produto comercial Tordon para controle de algumas pragas (MAPA, 2014).	91
Tabela 3.6 – Programação do experimento de volatilização em campo.	92
Tabela 4.1 - Resumo da granulometria para os materiais em estudo	101
Tabela 4.2 – Valores dos limites de consistência ou de Atterberg e do índice de atividade	102

Tabela 4.3 - Índices físicos médio para o solo compactado	102
Tabela 4.4 - Classificação dos solos estudados de acordo com o SUCS	103
Tabela 4.5 - Avaliação das densidades <i>in situ</i> das amostras	103
Tabela 4.6- Propriedades dos materiais quando compactados com Proctor normal, utilizando o molde pequeno de 100 mm de diâmetro com reuso de material	104
Tabela 4.7 - Dados sobre o número de golpes para cada camada no molde cilíndrico grande de 150 mm para simular a densidade <i>in situ</i> , a partir da umidade ótima.	104
Tabela 4.8- Resultado do teor de matéria orgânica	106
Tabela 4.9- Resultado de carbono e teor de matéria orgânica	106
Tabela 4.10- Resultado da análise de pH	107
Tabela 4.11 - Dados experimentais de entrada das amostras no programa	115
Tabela 4.12 - Velocidades máximas e médias dos ventos por dia	118
Tabela 4.13- Programação da campanha de ensaio	121
Tabela 4.14 - Recuperação do herbicida nas amostras de XAD-2 e PUF	122
Tabela 4.15 - Teor de umidade média nas triplicatas das amostras de solo de três profundidades distintas após experimento de campo	123
Tabela 4.16 - Densidade média em triplicatas das amostras de solo de três profundidades distintas no tubo de PVC após experimento de campo	124
Tabela 4.17 - Análise do 2,4-D nas resinas em sistema fechado	125
Tabela 4.18 - Análise do 2,4-D em diferentes matrizes no teste adicional	126
Tabela 4.19 - Valores da capacidade de retenção de água e do pH para os solos em estudo	127

Lista de Abreviaturas

2,4-D	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CLA	Camada Limite Atmosférica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
R2	Coeficiente de associação
R	Coeficiente de correlação
CV	Coeficiente de variação
λ	Comprimento de onda
K(Θ)	Condutividade Hidráulica
CG	Cromatografia Gasosa
Decrimper	Defrisador para abrir vial
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
OPP	EPA's Office of Pesticide Programs
EMA	Estação Meteorológica Automatizada
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Food and Drug Administration
Vial	Frasco para injeção cromatográfica
Crimper	Frisador para fechar vial
g	Grama
S	Grau de saturação
°C	Graus Celsius
HP	Hewlett Packard
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
I _a	Índice de Atividade
IP	Índice de Plasticidade
e	Índice de vazios
LGMA	Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente
LDE	Limite de Detecção do Equipamento
LDM	Limite de Detecção do Método
LL	Limite de Liquidez

LP	Limite de Plasticidade
LQ	Limite de Quantificação
LMR	Limites máximos de resíduos
L	Litro
ρ	Massa específica do solo
MO	Matéria Orgânica
m	Metro
m^3	Metro cúbico
μg	Micrograma
μL	Microlitro
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mmHg	Mililitro de Mercúrio
Mmol	Milimol
MARA	Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MS	Ministério da Saúde
min	Minuto
M	Molar
ng	Nanograma
nmol	Nanomol
NIOSH	National Institute of Occupational and Safety Health
NTP	National Toxicology Program
OSHA	Occupational and Safety Health Association
OMS	Organização Mundial de Saúde
ppb	Parte por bilhão
ppm	Parte por milhão
G_s	Peso específico
γ_s	Peso específico dos grãos
γ_n	Peso específico natural
γ_d	Peso específico seco

PUF	Poliurethane foam
n	Porosidade
kg	Quilograma
REL	Recommended exposure level
XAD-2	Resina de amberlite
SENAM	Secretaria Nacional do Meio Ambiente
Splitless	Sem divisão de fluxo
STEL	Short time exposure level
ω	Teor de umidade
w_n	Teor de umidade natural
WHO	World Health Organization