



Ramon de Attayde Barros de Souza

**Avaliação da presença do herbicida paraquat no
escoamento superficial em bacia hidrográfica de Bom
Jardim-RJ, através de modelagem e simulação em SIG
(Sistema de Informação Geográfica)**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor pelo programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Materiais e de
Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio.

Orientador: Roberto José de Carvalho
Co-orientadora: Rachel Bardy Prado
Co-orientador: Luiz Felipe Guanaes Rego

Rio de Janeiro
Agosto de 2009



Ramon de Attayde Barros de Souza

Avaliação da presença do herbicida paraquat no escoamento superficial em bacia hidrográfica de Bom Jardim – RJ, através de modelagem e simulação em SIG (Sistema de Informação Geográfica)

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Roberto José de Carvalho

Orientador e Presidente
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Dr. Luiz Felipe Guanaes Rego

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

Dra. Rachel Bardy Prado

Empr. Brasileira de Pesq. Agropecuária – Embrapa

Dra. Raquel Andrade Donagemma

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dr. Luiz Carlos Bertolino

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Dra. Elba dos Santos de Oliveira

Instituto Nacional de Tecnologia - INT

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico da
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de agosto de 2009.

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

Ramon de Attayde Barros de Souza

Graduou-se em Matemática na UERJ em 1998. Em 2000, iniciou seus estudos de nivelamento para mestrado em Matemática Pura e Aplicada na UFF. Obteve em 2003, o título de mestre em Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica pela PUC-Rio. Iniciou seu doutorado na PUC-Rio em 2004, com pesquisa na área de modelagem e simulação de processos físicos, químicos e ambientais com SIG (Sistema de Informação Geográfica). Desenvolveu sua tese sob co-orientação da EMBRAPA SOLOS e do NIMA/PUC-Rio. É professor de matemática das redes pública e privada de ensino do Rio de Janeiro, professor substituto do CAP - UFRJ. Atua também nas áreas da matemática aplicada e engenharias.

Ficha Catalográfica

Souza, Ramon de Attayde Barros de

Avaliação da presença do herbicida paraquat no escoamento superficial em bacia hidrográfica de Bom Jardim-RJ, através de modelagem e simulação em SIG (Sistema de informação geográfica) / Ramon de Attayde Barros de Souza ; orientador: Roberto José de Carvalho ; co-orientadora: Rachel Bardy Prado; co-orientador: Luiz Felipe Guanaes Rego. – 2009.

135 f. il. (color.) ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia de materiais – Teses. 2. Escoamento superficial. 3. Herbicidas. 4. Paraquat. 5. Modelagem. 6. Simulação. 7. Bacia hidrográfica. 8. Declividade. 9. SIG. I. Carvalho, Roberto José de. II. Prado, Rachel Bardy. III. Rego, Luiz Felipe Guanaes. IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. V. Título.

CDD: 620.11

Para minha esposa Luana Paula e meus avós pelo apoio incondicional.

Agradecimentos

Ao meu orientador Roberto José de Carvalho da PUC-Rio pelo estímulo, empenho e total colaboração na realização desta tese.

Aos meus co-orientadores Rachel Bardy Prado da EMBRAPA SOLOS e Luiz Felipe Guanaes Rego do NIMA/PUC-Rio pelo auxílio, dedicação e orientação para o desenvolvimento desta tese.

À PUC-Rio e ao projeto Pronex-PUC-Rio, pelos auxílios e suporte concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao pesquisador Heitor Luiz da Costa Coutinho da EMBRAPA SOLOS, pelo vínculo da tese com a EMBRAPA SOLOS e ao projeto PRONEX – PUC-Rio pelos dados fornecidos.

Ao pesquisador Alexandre Ortega Gonçalves da EMBRAPA SOLOS, pelo auxílio em muitos dados fundamentais para a pesquisa.

À professora substituta da UFRJ Raquel Andrade Donagemma, pelas análises realizadas nas amostras de escoamento superficial.

À minha esposa Luana Paula Cerqueira Monteiro, pela paciência, amparo e compreensão em todos os momentos.

Aos meus avós pela total ajuda e incentivo em todos os momentos de minha pesquisa.

Ao Alexandre (neto do proprietário do sítio, que continha as parcelas Wischmeier) pelo suporte nas coletas das amostras de escoamento superficial;

Ao meu tio Pedro pelos constantes incentivos em minha pesquisa.

Resumo

Souza, Ramon de Attayde Barros de. **Avaliação da presença do herbicida paraquat no escoamento superficial em bacia hidrográfica de Bom Jardim – RJ, através de modelagem e simulação em SIG (Sistema de Informação Geográfica)**. Rio de Janeiro, 2009. 135 p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta tese propõe avaliar a presença do herbicida paraquat no escoamento superficial, ocorrido na microbacia do Córrego Pito Aceso, localizada em Bom Jardim-RJ, utilizando inicialmente uma etapa de modelagem e, posteriormente, uma etapa de simulação com SIG (Sistema de Informação Geográfica). A etapa da modelagem foi desenvolvida especificamente para cinco parcelas padrão Wischmeier, considerando suas respectivas culturas, manejo, tipo de solo e os seguintes parâmetros de influência no escoamento: interceptação do pesticida pela cultura, sorção do pesticida no solo. O fator de declividade da bacia hidrográfica foi considerado apenas para a etapa de simulação com SIG. Os resultados foram representados através de índices e concentrações de paraquat presente no escoamento e, posteriormente validados, através de dados reais medidos na área de estudo, e analisados pela EMBRAPA SOLOS. Uma vez validados, os resultados das parcelas foram georeferenciados em mapas poligonais e matriciais, através do software Arcgis 9.2, dando início, assim, a etapa de simulação dos resultados para toda a bacia hidrográfica. Pretende-se, ao final, avaliar o grau de influencia de alguns parâmetros considerados, tais como: interceptação do paraquat pela cultura e declividade da bacia hidrográfica. Os resultados das concentrações do paraquat (presente no escoamento) poderão em trabalhos futuros, serem comparados com os padrões mínimos aceitáveis para segurança ambiental, objetivando estabelecer limites de uso do paraquat em bacias hidrografias similares. Espera-se também, o desenvolvimento e aplicação da mesma modelagem utilizada nessa tese, para outros tipos de pesticidas aplicados e em diferentes bacias hidrográficas.

Palavras-Chave

Escoamento Superficial; Herbicidas; Paraquat; Modelagem; Simulação; SIG; microbacia; declividades.

Abstract

Souza, Ramon de Attayde Barros de; Carvalho, Roberto José de Carvalho (Advisor). **Evaluation of presence of hebicide paraquat in runoff in watershed Bom Jardim with modelling and simulation with SIG (Geographical Information System)**. Rio de Janeiro, 2009. 135 p. Doctoral Thesis - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This study proposes to evaluate the presence of the herbicide paraquat in runoff water in a catchment in the municipality of Bom Jardim – RJ, using two steps: modelling and simulation with GIS (Geographical Information System). The step of modelling was developed specifically for five standardised Wischmeier scenarios, considering the respective crops, management, soil type and the following parameters: culture interception and soil of the sorption. The slope was considered only for the simulation steps of the GIS. The results were represented as rates paraquat concentrations in runoff and afterwards validated with real data measured in the study area and analysed by EMBRAPA SOLOS. After validation, the scenario results was georeferenced as raster images using the Arcgis Software 9.2, beginning the result simulation step for the watershed. The aim is also to evaluate the influence of some parameters: paraquat interception by the crop and slop of the catchmente. The results of paraquat concentrations in the runoff can, in the future , be compared with accepted standards for environmental safety, defining thereshobes limits of paraquat use in similar watersheds. We also expect the development and application of the same modeling approach used in this study for other types of pesticides and in different watersheds.

KeyWords

Runnof; herbicides; paraquat; modeling; simulation; GIS; watershed; slope.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	19
1.1. Objetivo Geral	21
1.2. Objetivos Específicos	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. Histórico dos Pesticidas	22
2.2. Impacto dos Pesticidas à Saúde Humana	23
2.3. Impacto dos Pesticidas no Meio Ambiente	23
2.4. Classificação dos Pesticidas	24
2.4.1. Classificação dos Pesticidas por Periculosidade	24
2.4.2. Classificação dos Pesticidas por Finalidade de Uso	25
2.4.3. Classificação dos Pesticidas por Estrutura Química	26
2.5. Inseticidas	26
2.6. Fungicidas	27
2.7. Herbicidas	27
2.8. Herbicida Paraquat	29
2.8.1. Paraquat em Contato com o Solo	30
2.8.2. Riscos Toxicológicos Causados por Paraquat	30
2.8.3. Propriedades Físico-Químicas do Paraquat	31
2.9. Propriedades Físico-Químicas de um Pesticida	31
2.9.1. Coeficiente de Partição K_{ow}	32
2.9.2. Solubilidade Aquosa	32

2.9.3. Pressão de Vapor	32
2.9.4. Constante de Equilíbrio de Ionização	33
2.9.5. Constante da Lei de Henry (H)	35
2.9.6. Interceptação Foliar	35
2.10. Destino de um Pesticida no Solo	37
2.10.1. Sorção de um Pesticida no Solo	38
2.10.1.1. Matéria Orgânica no Processo de Sorção	38
2.10.2. Absorção de um Pesticida pelas Plantas	39
2.10.3. Degradação de um Pesticida no Solo	40
2.10.4. Lixiviação de um Pesticida	41
2.10.5. Volatilização de um Pesticida	42
2.10.6. Escoamento Superficial	42
2.10.6.1. A Influência do Solo no Escoamento Superficial	44
2.11. Valores Máximos Permitidos de Pesticidas em Água	45
2.12. Sistema de Informação Geográfica (SIG)	46
2.12.1. Representação Vetorial e Matricial	47
2.12.1.1. Representação Vetorial	47
2.12.1.2. Representação Matricial	49
2.12.2. Software Arcgis 9.2	50
2.13. Modelagem Matemática	50
2.13.1. Modelo Matemático	51
2.13.1.1. Modelo Matemático de Simulação	51
2.13.1.2. Classificação dos Modelos Matemáticos	52
2.13.2. Modelagem Ambiental	52
2.13.2.1. Modelagem Ambiental em Ambiente SIG	53

2.13.2.1.1. Modelagem para Escoamento Superficial de Pesticidas	55
2.13.3. Modelo Utilizado (Tese)	56
3. MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1. Localização da Área de Estudo	57
3.2. Uso e Cobertura do Solo na Microbacia de Estudo	60
3.3. Localização das Parcelas Experimentais na Microbacia	61
3.3.1. Parcelas Experimentais	63
3.4. Estrutura da Metodologia	65
3.4.1. Coleta e Análise dos Dados de Precipitação	65
3.4.2. Coleta e Análise dos Dados do Escoamento Superficial	66
3.4.3. Aplicação do Paraquat	68
3.4.4. Coleta das Amostras de Água (Escoamento Superficial)	69
3.4.5. Análise das Amostras Coletadas	70
3.4.6. Modelagem (Modelo Utilizado)	71
3.4.6.1. Fatores e Parâmetros Necessários para o Modelo	71
3.4.6.1.1. Índice de Escoamento Superficial	72
3.4.6.1.2. Fator de Degradação	73
3.4.6.1.3. Fator de Sorção	74
3.4.6.1.4. Fator de Interceptação	75
3.4.6.2. Dados Necessários ao Modelo (Relativos ao Paraquat)	76
3.4.6.3. Dados Ambientais Necessários ao Modelo	76
3.4.6.3.1. Dados Relativos ao Carbono Orgânico	77
3.4.6.3.2. Dados Relativos à Densidade do Solo	78
3.4.6.4. Resumo dos Dados Ambientais Necessários ao Modelo	78
3.4.7. Simulação em SIG	80

3.4.8. Classificação do Mapa de Predominância de Paraquat no Escoamento Superficial em Função dos VMP	81
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1. Escoamento Superficial Relativo às Parcelas Experimentais	82
4.1.1. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Café	82
4.1.2. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Banana	83
4.1.3. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Pousio	85
4.1.4. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Mata	86
4.1.5. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Anual	88
4.1.6. Perfil de Precipitação (Escoamento Superficial)	90
4.1.7. Fluxo Máximo de Escoamento Superficial	91
4.1.8. Duração da Chuva Intensa (Escoamento Superficial)	92
4.2. Inteceptação Foliar do Paraquat	93
4.3. Representação dos Dados de Entrada e dos Resultados	94
4.4. Resultados da Modelagem	94
4.4.1. Avaliação dos Resultados da Modelagem	96
4.5. Simulação em Ambiente SIG	96
4.5.1. Modelo Digital de Elevação da Microbacia	97
4.5.2. Mapa de Estrutura Matricial das Parcelas Experimentais	99
4.5.2.1. Reclassificação dos Mapas das Parcelas Experimentais em Função da Declividade	100
4.5.2.1.1. Mapa Reclassificado da Parcela Café	100
4.5.2.1.2. Mapa Reclassificado da Parcela Banana	101
4.5.2.1.3. Mapa Reclassificado da Parcela Pousio	102
4.5.2.1.4. Mapa Reclassificado da Parcela Mata	103

4.5.2.1.5. Mapa Reclassificado da Parcela Anual	104
4.5.2.2. Declividade Predominante das Parcelas Experimentais	105
4.5.2.2.1. Declividade Predominante da Parcela Café	105
4.5.2.2.2. Declividade Predominante da Parcela Banana	106
4.5.2.2.3. Declividade Predominante da Parcela Pousio	107
4.5.2.2.4. Declividade Predominante da Parcela Mata	108
4.5.2.2.5. Declividade Predominante da Parcela Anual	109
4.5.2.2.6. Valores dos Pixels Relativos às Parcelas Experimentais (Utilizados Como Referência)	110
4.5.3. Resultados da Simulação	110
4.5.3.1. Simulação Relativa às Culturas Anuais	111
4.5.3.2. Simulação Relativa às Culturas Perenes	115
4.5.3.3. Simulação Relativa à Mata Inicial	118
4.5.3.4. Mapa de Predominância de Paraquat no Escoamento Superficial para todas as Culturas	121
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	124
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
7. ANEXOS	134
7.1. Curva Analítica Relativa às Amostras de Escoamento Superficial	134
7.2. Tabela Com Resultados das Análises das Amostras de Escoamento Superficial	135

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos pesticidas em função da periculosidade.	24
Tabela 2 - Classificação dos pesticidas em função da finalidade de uso.	25
Tabela 3 - Classificação dos pesticidas em função de sua estrutura química e finalidade de uso.	26
Tabela 4 - Propriedades físico-químicas relativas ao paraquat.	31
Tabela 5 - Faixa de pH do solo – Ácido fraco.	33
Tabela 6 - Faixa de pH do solo – Base fraca.	34
Tabela 7 - Tendência de volatilidade de um composto químico.	35
Tabela 8 - Índices de interceptação foliar por culturas.	36
Tabela 9 - Especificidades dos fatores influentes no processo de lixiviação.	41
Tabela 10 - Valores Máximos Permitidos (VMP) para pesticidas em água.	45
Tabela 11 - Taxa de aplicação do paraquat.	68
Tabela 12 - Identificação das amostras relativas às parcelas Wischmeier.	69
Tabela 13 - Resumo dos resultados obtidos.	70
Tabela 14 - Parâmetros necessários para o modelo proposto.	72
Tabela 15 - Parâmetros relativos ao paraquat.	76
Tabela 16 - Índices de carbono orgânico de cada parcela Wischmeier.	77
Tabela 17 - Densidade do solo relativa às parcelas Wischmeier.	78
Tabela 18 - Dados relativos aos parâmetros de cada parcela Wischmeier.	79
Tabela 19 - Resumo da proporção de classificação.	51
Tabela 20 - Dados de precipitação e escoamento superficial -parcela café.	82
Tabela 21 - Dados de precipitação e escoamento superficial -parcela banana.	84

Tabela 22 - Dados de precipitação e escoamento superficial -parcela pousio.	85
Tabela 23 - Dados de precipitação e escoamento superficial -parcela mata.	87
Tabela 24 - Dados de precipitação e escoamento superficial -parcela anual.	88
Tabela 25 - Planilha de cálculos do modelo.	94
Tabela 26 - Resultados obtidos por meio da modelagem e pela análise laboratorial das amostras.	96
Tabela 27 - Resumo dos pesos finais utilizados.	110
Tabela 28 - Quantidade de pixels distribuídos relativos à figura 29.	121

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura molecular do Paraquat.	29
Figura 2 - Processos associados no destino do pesticida no solo.	37
Figura 3 - Estrutura vetorial poligonal.	47
Figura 4 - Estrutura vetorial isolinha.	48
Figura 5 - Estrutura vetorial TIN.	48
Figura 6 - Estrutura matricial.	49
Figura 7 - Estrutura poligonal e matricial.	49
Figura 8 - Estrutura de funcionamento de um modelo de simulação.	51
Figura 9 - Localização da microbacia do córrego Pito Aceso.	58
Figura 10 - Imagem e mapa da microbacia do córrego Pito Aceso.	59
Figura 11 - Mapa de uso e cobertura do solo da microbacia do córrego Pito Aceso.	60
Figura 12 - Localização das parcelas experimentais na microbacia do córrego Pito Aceso.	61
Figura 13 - Localização ampliada das parcelas experimentais na microbacia do córrego Pito Aceso.	62
Figura 14 - Local de instalação das parcelas experimentais.	63
Figura 15 - Estrutura das parcelas Wischmeier.	63
Figura 16 - Caixas d'água de armazenamento de escoamento superficial.	64
Figura 17 - Estação hidrossedimentológica.	66
Figura 18 - Curvas de nível da microbacia de estudo.	97
Figura 19 - Modelo Digital de Elevação relativo à microbacia de estudo.	98
Figura 20 - Mapa de estrutura matricial relativo à cabeceira da microbacia de estudo.	99
Figura 21 - Mapa de estrutura matricial relativo à parcela café.	100
Figura 22 - Mapa de estrutura matricial relativo à parcela banana.	101
Figura 23 - Mapa de estrutura matricial relativo à parcela pousio.	102

Figura 24 - Mapa de estrutura matricial relativo à parcela mata.	103
Figura 25 - Mapa de estrutura matricial relativo à parcela anual.	104
Figura 26 - Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em culturas anuais.	113
Figura 27 - Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em culturas perenes.	116
Figura 28 - Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em regiões cobertas por mata inicial.	119
Figura 29 - Mapa de predominância de paraquat no escoamento superficial para todas as culturas.	122

Lista de Ilustrações

Ilustração 1 - Estrutura molecular do paraquat	29
Ilustração 2 - Resumo da metodologia	65
Ilustração 3 - Perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura café	83
Ilustração 4 - Perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura banana	84
Ilustração 5 - Perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura pousio	86
Ilustração 6 - Perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura mata	87
Ilustração 7 - Perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura anual	89
Ilustração 8 - Perfil de precipitação de cada parcela Wischmeier	90
Ilustração 9 - Fluxo máximo de escoamento superficial de cada parcela Wischmeier	91
Ilustração 10 - Duração da chuva intensa de cada parcela Wischmeier	92
Ilustração 11 - Interceptação foliar para cada parcela Wischmeier	93
Ilustração 12 - Resultados da modelagem	95
Ilustração 13 - Processamento relativo à parcela café	105
Ilustração 14 - Resultado do processamento relativo à parcela café	106
Ilustração 15 - Processamento relativo à parcela banana	106
Ilustração 16 - Resultado do processamento relativo à parcela banana	107
Ilustração 17 - Processamento relativo à parcela pousio	107
Ilustração 18 - Resultado do processamento relativo à parcela pousio	108
Ilustração 19 - Pprocessamento relativo à parcela mata	108
Ilustração 20 - Resultado do processamento relativo à parcela mata	109

Ilustração 21- Processamento relativo à parcela anual	109
Ilustração 22 - Resultado do processamento relativo à parcela anual	110
Ilustração 23 - Cálculos necessários para obtenção dos resultados relativos às culturas anuais	111
Ilustração 24 - Gráficos auxiliares ao mapa da figura 26	114
Ilustração 25 - Cálculos necessários para obtenção dos resultados relativos às culturas perenes	115
Ilustração 26 - Gráficos auxiliares ao mapa da figura 27	117
Ilustração 27 - Cálculos necessários para obtenção dos resultados relativos às regiões cobertas por mata inicial	118
Ilustração 28 - Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em culturas perenes	120

1 Introdução

A preocupação com a poluição dos corpos d'água (córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios) tem sido alvo de inúmeras pesquisas em todo mundo (Goodchild, 1993). As fontes poluentes de uma bacia hidrográfica podem ser identificáveis (pontuais – geralmente esgotos), onde as possibilidades de tratamento aumentam significativamente. No entanto, quando determinados poluentes atingem os corpos d'água de modo aleatório difuso, as fontes de poluição são então denominadas (fontes difusas – geralmente resíduos agrícolas como fertilizantes e pesticidas) e, o seu controle e tratamento torna-se bastante complexo e muitas vezes ineficaz.

Recentemente, pesquisas desenvolvidas por Prodanoff (2005) constataram que as fontes difusas, mais precisamente os escoamentos superficiais, são os principais causadores da degradação da qualidade das águas superficiais. Dependendo da velocidade e do local onde ocorra, o escoamento superficial pode transportar partículas presentes no solo, compostos químicos, matéria orgânica, sementes e pesticidas.

Quando um determinado pesticida atinge os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, há possibilidades de ocorrência dos seguintes danos: intoxicação dos organismos aquáticos, prejudicando a cadeia alimentar e reduzindo a biodiversidade local; acumulação no sedimento ou nos organismos aquáticos, levando ao processo de magnificação biológica e contaminando fontes alimentares da população humana; contaminação direta da população humana pelo consumo de água; acumulação em culturas irrigadas com água contaminada.

Dentre os diversos tipos de pesticidas existentes, o paraquat é considerado um dos herbicidas mais utilizados na agricultura em todo o mundo, principalmente no Brasil. Seu uso ocorre devido à eficácia no controle e combate às pestes ou plantas consideradas invasoras. O paraquat é produzido por vários países, como a China, os EUA, a Itália e o Reino Unido.

Embora muito utilizado na agricultura, o paraquat é considerado altamente tóxico, quando em contato com seres humanos. Sua ação no homem caracteriza-se pela capacidade de produção permanente de radicais livres de oxigênio, compostos muito lesivos às células. Assim, a intoxicação via oral, transdérmica ou inalatória, pode afetar órgãos vitais, como o: pulmão, o fígado e os rins (Serra et al., 2003).

Com o objetivo de avaliar o processo de escoamento superficial, juntamente com os danos decorrentes, é comum a utilização de modelos matemáticos ou hidrológicos, tais como: ARM (Domigan et al., 1977), CREAMS (Kniesel, 1980), PRZM (Carsel et al.), SFIL (Reus et al., 1999) e REXTOX (OECD, 2000 & Berenzen et al., 2004). Entretanto, devido às dificuldades para obtenção de dados, além do custo e mão-de-obra especializada, muitos desses modelos tornam-se inviáveis de serem utilizados (Probst et al., 2005).

A presente tese propõe modelar e simular por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) a presença do herbicida paraquat no escoamento superficial na microbacia do córrego Pito Aceso – que faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Esta microbacia está inserida em Barra Alegre, 4º Distrito do município de Bom Jardim, RJ. Esta tese é estruturada nas seguintes etapas consecutivas e dependentes: coleta e análise de dados de escoamento superficial, aplicação do paraquat, coleta de amostras de água (proveniente do escoamento superficial), análise das amostras coletadas, modelagem, resultados da modelagem, validação do modelo. Simulação em ambiente SIG para microbacia, resultados finais e representação e análise dos resultados finais.

Um dos diferenciais desta tese consiste em não utilizar o parâmetro de declividade da microbacia na etapa de modelagem, o que facilita e simplifica o uso do modelo. No entanto, o fator de declividade – essencial no processo de escoamento - é utilizado na etapa de simulação com SIG (Sistema de Informação Geográfica), por meio do Arcgis 9.2.

Espera-se ao final deste trabalho identificar os parâmetros mais influentes no escoamento superficial do paraquat, assim como destacar o risco potencial do seu transporte e, propiciar base para que outros trabalhos sejam desenvolvidos.

1.1. Objetivo Geral

Avaliar a presença do herbicida paraquat no escoamento superficial na microbacia do córrego Pito Aceso por meio de modelagem e simulação em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), considerando a interceptação do paraquat por culturas, a sorção e degradação do paraquat no solo e, principalmente a declividade da microbacia.

1.2. Objetivos Específicos

- ___ Identificar o pesticida paraquat como fonte de poluição difusa na microbacia do córrego Pito Aceso;
- ___ Avaliar o risco potencial do paraquat na intoxicação da população humana, pela contaminação direta e pelo consumo da água contaminada;
- ___ Identificar os parâmetros mais influentes no escoamento superficial do paraquat;
- ___ Destacar a possibilidade de transporte do paraquat para rios e córregos (presentes no interior e nas proximidades do córrego Pito Aceso);
- ___ Obter um perfil de escoamento superficial na microbacia, para diferentes tipos de cultivos e manejo do solo;
- ___ Obter um mapa de avaliação do risco potencial da presença do paraquat no escoamento superficial na microbacia do Córrego Pito Aceso, considerando o uso e cobertura do solo.

2 Revisão Bibliográfica

2.1.Histórico dos Pesticidas

Há séculos o homem vem utilizando substâncias químicas, com o objetivo de controlar doenças em plantas, pragas e enfermidades (Freire, 2005). É possível encontrar na literatura, escritos de romanos e gregos, que relatam o uso de algumas substâncias químicas, tais como o arsênico e o enxofre, para o controle de insetos nos primórdios da agricultura (Luna et al., 2004).

Segundo Freire (2005), a partir de 1920, foram iniciadas pesquisas voltadas para utilização de substâncias químicas orgânicas, tais como o DDT (na década de 30) e outros organoclorados (na década de 40). No entanto, foi após a II Guerra Mundial, que ocorreu um rápido desenvolvimento do campo agroquímico, com a introdução em grande escala de inseticidas, fungicidas e herbicidas - que no final da década de 60, já eram destinados a substituírem os organoclorados (Freire, 2005; Mackay, 1991).

Os pesticidas são substâncias químicas, naturais ou sintéticas, utilizadas com a finalidade de prevenir a ação, controlar ou eliminar pragas que podem ser constituídas por insetos, fungos, ervas daninhas, ácaros, bactérias, nematóides, roedores e outras formas de vida animal ou vegetal, indesejáveis ou prejudiciais à agricultura e à pecuária (Ribeiro et al., 2008).

Nos últimos 30 anos, o uso de pesticidas na agricultura tornou-se bastante difundido, especialmente no Brasil, que passou a ser um dos maiores consumidores de pesticidas, ficando atrás somente do Japão e dos EUA (Dams, 2006). Contudo, o uso indiscriminado desses pesticidas - sem as devidas precauções e cuidados em relação à manipulação, produção, estocagem e destino final - podem por em risco o ambiente e, também a saúde das pessoas, que de alguma forma entram em contato com tais produtos.

2.2. Impactos dos Pesticidas à Saúde Humana

Quando algum tipo de pesticida entra em contato com o homem, podem ocorrer os seguintes sintomas: dores de cabeça, fraqueza, mal-estar, dor de estômago, sonolência. Dependendo do grau de intoxicação, os pesticidas também podem causar no homem, distúrbios respiratórios, como a asma, distúrbios reprodutivos, como câncer de mama e de ovário ou ainda numa situação mais grave, paralisia e neoplasia (Dams, 2006).

De acordo com Ribas & Matsumura (2009), dentre todos os casos de impactos sobre organismos específicos, os seres humanos são os mais afetados, pois a contaminação das águas e solo e, também o impacto direto na biodiversidade interferem diretamente na qualidade de vida humana. De acordo com (Anvisa) e citado por Ribas & Matsumura (2009), a segunda maior causa de intoxicação em seres humanos é por pesticidas, perdendo apenas para intoxicações por medicamentos.

Ainda segundo Ribas & Matsumura (2009), a população mais exposta aos riscos de intoxicações por pesticidas são os produtores e aplicadores, ou seja, aos profissionais que possuem contato direto com o produto (Peron et al, 2003).

2.3. Impactos dos Pesticidas no Meio Ambiente

Embora ocupem um importante papel na agricultura, os pesticidas podem ser danosos ao ambiente (Mackay, 1991), uma vez que podem atingir os mananciais hídricos (Da Silva et al., 2009), podem ser volatilizados para a atmosfera (Souza, 2003) ou ainda serem adsorvidos por partículas do solo e permanecerem neste por longos períodos, desde meses até anos (Dams, 2006). Segundo (Mesquita, 2005), uma fração considerável dos pesticidas utilizados na agricultura, acaba atingindo o solo e as águas de forma indesejável.

De acordo com Ribas & Matsumura (2009), os principais destinos dos pesticidas são as superfícies e as subsuperfícies, pois considera o fato dos recursos hídricos agirem como integradores de todos os processos biogeoquímicos em qualquer região. O homem é o alvo mais sensível aos impactos do uso de pesticidas, o que pode ser observado a partir das doenças e mortes decorrentes.

2.4. Classificação dos Pesticidas

Os pesticidas podem ser classificados de acordo com o grau de periculosidade (Ibama, 1996; Freire, 2005), estrutura química (Freire, 2005) e de acordo com o seu mecanismo de ação sobre os organismos alvo a serem combatidos finalidade do uso (Hassal, 1982; Freire, 2005).

2.4.1. Classificação dos Pesticidas por Periculosidade

A periculosidade é a capacidade que um pesticida possui em produzir algum efeito danoso à saúde humana (Freire, 2005). Esse critério de classificação pondera formas de maior e menor risco de cada produto, através da Dose Letal (DL₅₀), por via oral ou dérmica em ratos. O valor da DL₅₀ é uma estimativa da quantidade de pesticida (mg) por kg de peso corporal, requerido para matar 50% do grupo de animais em experimentação (Opas, 1997). A tabela 1 apresenta a classificação dos pesticidas em função da periculosidade, obtida pela Organização Mundial de Saúde [OPAS, 1997] e citado por Maraschin (2003) e Freire (2005).

Tabela 1: Classificação dos pesticidas em função da periculosidade.

*Fonte: Organização Mundial de Saúde - Adaptado de OPAS, 1997 & FREIRE, 2005.

DL50 para ratos (mg/kg de peso corporal)						
Classe		Faixa no Rótulo	Oral		Dérmica	
			Sólidos	Líquidos	Sólidos	Líquidos
I	Extremamente tóxico	Vermelha	< 5	< 20	< 10	< 40
II	Altamente tóxico	Amarela	5 - 50	20 - 200	10 - 100	40 - 400
III	Medianamente tóxico	Azul	50 - 500	200 - 2000	100 - 1000	400 - 4000
IV	Pouco tóxico	Verde	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

Consta também na tabela 1, a classificação dos pesticidas em função da coloração da faixa no rótulo do produto, segundo determinações da OMS (Organização Mundial da Saúde) e descrito por Opas (1997).

2.4.2. Classificação dos Pesticidas por Finalidade de Uso

Os pesticidas podem ser classificados em diferentes grupos, de acordo com o propósito de uso (Hassal, 1982), conforme consta na tabela 2:

Tabela 2: Classificação dos pesticidas em função da finalidade de uso.

* Fonte: HASSAL, 1982

Pesticidas	Principais Funções
Acaricidas	Controle de ácaros.
Algicidas	Controle das algas e outras vegetações aquáticas.
Anti-sépticos	Proteção de materiais não-metálicos.
Arboricidas	Destruição de árvores indesejáveis.
Bactericidas	Controle de bactérias e doenças bacterianas das plantas.
Fungicidas	Controle de doenças de plantas e vários fungos.
Herbicidas	Controle de ervas.
Inseticidas	Controle de insetos prejudiciais.
Molusquicidas	Controle de vários moluscos.
Nematocidas	Controle de nematódeos.
Raticidas	Controle de roedores.

Desde a Segunda Guerra Mundial, as substâncias químicas (em grande parte os organoclorados) já se destacavam pela considerável persistência ambiental e pelos efeitos danosos que causavam (Mackay, 1991). Com o rápido desenvolvimento no campo agroquímico, os organoclorados foram aos poucos sendo substituídos pelos inseticidas, fungicidas e herbicidas (Freire, 2005).

2.4.3. Classificação dos Pesticidas por Estrutura Química

Os pesticidas podem ser classificados de acordo com sua estrutura química em diversos grupos específicos (Freire, 2005), conforme é apresentado na tabela 3. Cada um desses grupos apresenta um radical comum e todos os compostos são derivados deste radical.

Tabela 3: Classificação dos pesticidas em função de sua estrutura química e finalidade de uso.

*Fonte: FREIRE, 2005.

Classes	Pesticidas	Finalidade
Acetanilídricos	Propanil, dimetenamida, atacloro.	Herbicidas
Bipiridílicos	Paraquat, diquat.	Herbicidas
Carbanatos	Carbaril, carbosulfan, carbofuran, metiocarb, pirimicarb, fenoxicarb, dimetan, tiodicarb.	Inseticidas
Carbamoiloxímicos	Aldicarb, metomil, oxamil, tiofanox, tirpate.	Inseticidas
Ditiocarbanatos	Ferbam, thiram, maneb, zineb, mancozeb.	Fungicidas
Imidazólicos	Benomil, carbendazim, tiabendazol, imazalil.	Fungicidas
Organoclorados	Aldrin, isômeros do HCH, metoxiclor, mirex, DDT e isômeros, endossulfan, heptaclor.	Inseticidas
Organoestânicos	Acetato e hidróxido de trifetil estanho	Fungicidas
Organofosforados	Acefato, metil azinfós, clorpirifós, bromofós, demeton, fenitrothion, malation, paration.	Inseticidas
Organomercuriais	Cloreto de etilmercúrio, acetato de fenilmercúrio.	Fungicidas
Piretróides	Aletrina, remetrina, premetrina, cipermetrina, fenvalerato, cialotrina, deltametrina.	Inseticidas
Pirimidínicos	Metirimol, etirimol, ciprodinil.	Fungicidas
Tiocarbamatos	Bentio carb, butilate, dialate, sulfate, trialate.	Herbicidas

2.5. Inseticidas

Podem ser subdivididos em diferentes grupos, de acordo com o nível de ação no organismo do inseto (Melnikov, 1971):

__ Sensíveis: mata insetos por meio do contato com qualquer parte do corpo;

__ Estomacais: mata os insetos através da penetração nos órgãos do sistema alimentar;

__ Sistêmicos: envenena os insetos que se alimentam das plantas, devido à capacidade de locomoção do inseticida através do sistema vascular das plantas;

__ Fumegantes: penetra nos insetos através dos órgãos respiratórios.

Os inseticidas que são simultaneamente sensíveis, estomacais, sistêmicos e fumegantes classificam-se de acordo com a característica principal. É o que acontece com o lindano, que é classificado como sensível, embora apresente todas as características de classificação, feita por Melnikov (1971).

Existem também os inseticidas que são considerados letais para os insetos, por obstruírem os canais respiratórios, causando a morte por asfixia. Para este caso, destacam-se os compostos constituídos de óleo mineral e de gel de sílica.

2.6.Fungicidas

Os fungicidas são agentes químicos utilizados contra os patógenos dos fungos. Geralmente são divididos em dois subgrupos principais: os fungicidas usados para controle de doenças que se desenvolvem em plantas e os desinfetantes de sementes, que protegem as mudas de várias enfermidades (Hassal, 1982).

São aplicados na forma de pulverização, para proteger culturas contra doenças das folhas, dos caules e dos frutos, além de deter infestações iniciais (efeito curativo ou erradicativo), úteis no esquema de trabalho do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

2.7.Herbicidas

São usados na agricultura para remover ervas daninhas, que estariam presentes nas futuras colheitas. Os herbicidas podem ser classificados de acordo com os seguintes critérios: ação e efeitos (Hassal, 1982).

Com relação à ação, os herbicidas podem ser divididos em dois subgrupos:

__ Herbicidas Não-Seletivos: atuam em todas as espécies de plantas;

__ Herbicidas Seletivos: nocivos apenas a algumas espécies de plantas e seguro para outras.

Quanto aos efeitos, todos os herbicidas são divididos em três subgrupos: contato, sistêmicos e herbicidas que atuam nos sistemas das raízes das plantas ou na germinação das sementes.

Os herbicidas de contato incluem compostos prejudiciais às folhagens e aos caules das plantas, que interrompem o processo de vida normal das plantas. Estes tipos de herbicidas atingem apenas as partes de contato, não sendo úteis, portanto para o transporte através das plantas.

Os herbicidas sistêmicos incluem compostos com capacidade de movimentação através do sistema vascular das plantas. No contato com a folhagem e raízes das plantas, são rapidamente distribuídos por toda a planta, causando sua morte. O uso dos herbicidas sistêmicos é especialmente valioso no controle das ervas, tendo atuação forte nas raízes.

O terceiro subgrupo consiste nos herbicidas que são introduzidos no solo para destruir sementes, germinação das sementes e as raízes das ervas.

Geralmente, após a aplicação de herbicidas em determinada cultura recomenda-se respeitar dois intervalos de tempo específicos:

__ Intervalo de acesso às culturas tratadas: intervalo de tempo precedente à entrada de pessoas ou animais na área tratada;

__ Intervalo de segurança: intervalo de tempo entre o último tratamento da cultura e sua respectiva colheita.

2.8. Herbicida Paraquat

O Paraquat ($C_{12} H_{14} Cl_2 O_2$) - comercialmente conhecido como Gramoxone® - é um herbicida de contato não-seletivo, pertencente ao grupo dos bipiridílios, cuja aplicação é indicada em situações de pós-emergência de diversas plantas invasoras, tais como: capim-papuã, arroz-vermelho, picão-preto, poaia-branca e picão-branco (Valencia, 2007). Em geral, é aplicado nas culturas de abacaxi, cacau, banana, beterraba, chá, pêssego, café, feijão, pêra, trigo e uva. Também é empregado como agente dessecante em culturas de algodão, arroz, batata, cana-de-açúcar, milho, soja e sorgo.

O paraquat não existe em seu estado natural, e sua síntese deve-se a Widel e Russo, que publicaram em seus trabalhos em 1882. As propriedades deste composto só foram descobertas em 1955, e sua utilização começou por volta do ano de 1962 (Abreu, 2008).

A figura 1 e a ilustração 1 apresentam a estrutura molecular do Paraquat.

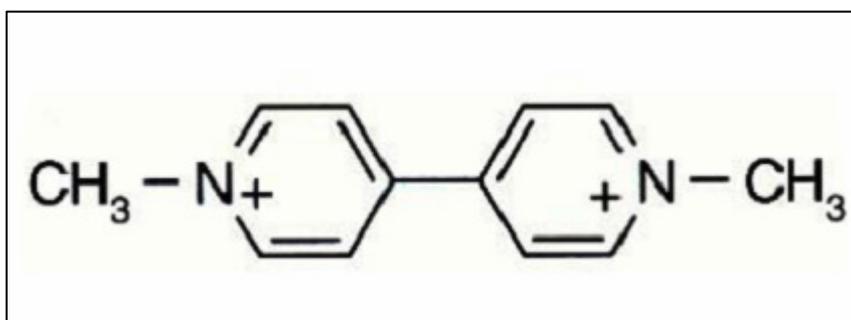


Figura: Estrutura Molecular do Paraquat.

* Fonte: ANVISA.

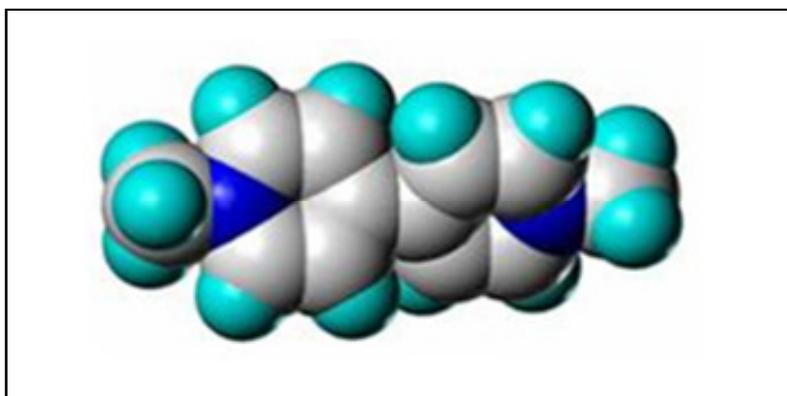


Ilustração 1: Ilustração da Estrutura Molecular do Paraquat.

* Fonte: Centro de Informações sobre Paraquat em nome de Syngenta Crop Protection AG .

2.8.1. Paraquat em Contato com o Solo

O Paraquat, quando em contato com o solo, não é degradado e é altamente persistente, além de ser rapidamente e fortemente retido pelos minerais argilosos (Seki & Yurdakoç, 2005) e pela matéria orgânica (Prata & Lavorenti, 2000), através de mecanismos moleculares, tais como: pontes de hidrogênio, transferência de carga, forças de Van-der-Waals e sorção hidrofóbica (Prata, 2002). Segundo Valencia (2007), além de persistirem indefinidamente no solo, os resíduos do paraquat também podem ser transportados em efluentes de descarte em conjunto com o sedimento. Apesar de a troca iônica ser considerada o principal mecanismo de retenção do paraquat nas partículas de argila (presentes no solo) Seki & Yurdakoç (2005), diversas pesquisas, como: Musumeci (1992), Piccolo et al. (1996), Vieira et al. (1999), Prata & Lavorenti (2000) e Rizzi (2003) destacam a matéria orgânica como principal responsável pela retenção de pesticidas no solo.

2.8.2. Riscos Toxicológicos Causados por Paraquat

Apesar de bastante utilizado na agricultura, o Paraquat é considerado bastante tóxico para os humanos e animais (Almeida et al., 2007) - com classificação toxicológica Classe I (Extremamente perigoso) (Anvisa). De acordo com Peron et al. (2003), a população mais exposta aos riscos de intoxicações por paraquat são os profissionais que possuem contato direto com o produto, tais como os trabalhadores do setor agropecuário, dos setores de transporte e comércio e das indústrias de formulação e síntese.

O Paraquat pode causar intoxicações fatais aos humanos e animais, devido principalmente à falta de antídoto eficaz na reversão do quadro clínico (Almeida et al., 2007). Sua toxicidade pode comprometer rins, fígado, músculos, cérebro e, na maioria das vezes os pulmões, levando a severas conseqüências como o edema, hemorragia, inflamação intersticial e fibrose pulmonar. O tratamento da intoxicação, atualmente, é baseado em medidas que diminuam a absorção e aumentem a excreção. Entretanto, ainda de acordo com Almeida et al. (2007),

estudos sobre o uso de agentes antioxidantes e antifibróticos vem sendo desenvolvidos, com o objetivo de obter um antídoto nas intoxicações.

É possível também encontrar na literatura, casos de suicídios causados pela ingestão do paraquat (Serra et al., 2003). Porém, pesquisas recentes indicam um declínio nestes envenenamentos intencionais (Freire, 2005).

Ainda de acordo com Freire (2005) estudos sobre envenenamento em humanos, indicam DL_{50} de aproximadamente $3-5 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$, o equivalente a 10-15 mL de 20% de solução de paraquat.

2.8.3. Propriedades Físico-Químicas do Paraquat

De acordo com Prata (2002) e Mackay (1991) e com mais detalhes no capítulo 2.9, algumas propriedades físico-químicas podem influenciar o destino de um herbicida no ambiente. A tabela 4 apresenta algumas dessas propriedades físico-químicas relativas ao paraquat, obtidas a partir de Silva (2004) e Syngenta (2009).

Tabela 4: Propriedades físico-químicas relativas ao Paraquat.

*Fonte: Adaptado de Silva(2004).

Propriedades Físico-Químicas	
Solubilidade Aquosa	$7 \times 10^5 \text{ mg L}^{-1}$
Pressão de Vapor	10^{-7} mmHg
Peso Molecular	$257,2 \text{ g mol}^{-1}$
K_{OW}	4,5
K_{OC}	10^3 mL g^{-1}
DT_{50}	10^3 dias

2.9. Propriedades Físico-Químicas de um Pesticida

Segundo Prata (2002), o destino ambiental dos pesticidas pode ser influenciado por algumas propriedades físico-químicas, dentre as quais se destacam: coeficiente de partição K_{OW} , solubilidade aquosa, pressão de vapor, constante de equilíbrio de ionização e constante da lei de Henry.

2.9.1. Coeficiente de Partição K_{OW}

O coeficiente de partição K_{OW} é um número adimensional, estimado sob temperatura constante e em condições de equilíbrio, e representado pela razão entre as concentrações do pesticida respectivamente, no octanol (C_O) e na água (C_W) (Souza, 2003):

$$K_{OW} = \frac{C_O}{C_W} \quad [2.1]$$

De acordo com estudos realizados por Prata (2002), o K_{OW} pode indicar o comportamento do pesticida no solo. Pesticidas lipofílicos, com valores de $\text{LOG}(K_{OW}) > 4$ tendem a se acumular nos materiais lipídicos, e conseqüentemente na fração orgânica do solo. Analogamente, pesticidas hidrofílicos, com valores de $\text{LOG}(K_{OW}) < 1$ são mais solúveis em água, apresentando por conseqüência baixa sorção no solo.

2.9.2. Solubilidade Aquosa

A solubilidade (S_W) aquosa de um pesticida é a quantidade máxima do pesticida, que à temperatura constante, pode ser dissolvida em uma dada quantidade de água. Um pesticida que possui alta solubilidade aquosa e baixa sorção tende a ser um contaminante de águas subterrâneas. Em geral, a solubilidade aquosa é inversamente proporcional ao coeficiente de partição K_{OW} (Paraíba et al., 2005).

2.9.3. Pressão de Vapor

A pressão de vapor (P_V) de um pesticida é definida como sendo a pressão exercida pelo pesticida em equilíbrio dinâmico, entre seus estados gasoso e líquido. Em geral, pode indicar a tendência de transporte do pesticida para a atmosfera. Quanto maior a pressão de vapor, maior a possibilidade do pesticida existir no estado gasoso (Garcia, 2005).

Geralmente, pesticidas com $P_v > 10^{-2}$ mmHg são considerados muito voláteis à temperatura ambiente; $10^{-4} \leq P_v \leq 10^{-3}$, mediantemente voláteis; $10^{-7} \leq P_v \leq 10^{-5}$, pouco voláteis e $P_v < 10^{-8}$, não voláteis (Prata, 2002).

2.9.4. Constante de Equilíbrio de Ionização

A constante de ionização (K) do pesticida é indicada para moléculas que possuem características de ácido fraco ou base fraca, e representa respectivamente, a maior ou menor tendência do pesticida em se ionizar (Prata, 2002). Os valores de K indicam a faixa de P_H da solução do solo, em que o pesticida pode ionizar-se.

As tabelas 5 e 6 apresentam faixas de pH do solo, associadas com valores de K de pesticidas, juntamente com a tendência de concentração predominante no solo:

Tabela 5: Faixas de pH do solo – Ácido Fraco.

* Fonte: PRATA (2002).

Ácido Fraco	
Constante K e P_H do solo	Tendência
P_H (solução do solo) = P_K (pesticida)	$C_{P_M} = C_{P_A}$
P_H (solução do solo) < P_K (pesticida)	$C_{P_M} > C_{P_A}$
P_H (solução do solo) > P_K (pesticida)	$C_{P_M} < C_{P_A}$

C_{P_M} – Concentração de pesticida na forma molecular;

C_{P_A} – Concentração de pesticida na forma aniônica;

$P_K = -\log K$.

Tabela 6: Faixa de pH do solo – Base fraca.

* Fonte: PRATA (2002)

Base Fraca		
Constante K e P_H do solo		Tendência
P _H (solução do solo) = P _K (pesticida)	P _H ≤ 6	C _{P_M} < C _{P_C}
	P _H ≥ 8	C _{P_M} > C _{P_C}
	P _H = 7	C _{P_M} = C _{P_C}
P _H (solução do solo) < P _K (pesticida)	P _H ≤ 5	C _{P_M} < C _{P_C}
	P _H ≥ 7	C _{P_M} > C _{P_C}
P _H (solução do solo) > P _K (pesticida)	P _H ≤ 7	C _{P_M} < C _{P_C}
	P _H ≥ 8	C _{P_M} > C _{P_C}

C_{P_M} – Concentração de pesticida na forma molecular;

C_{P_C} – Concentração de pesticida na forma aniônica;

P_K = - log K .

A partir das informações das tabelas 5 e 6, é possível analisar algumas possibilidades de retenção do pesticida pelo solo. Basta identificar quando a concentração do pesticida em sua forma aniônica (ou catiônica) é superior à concentração do pesticida em sua forma molecular. Por exemplo, para pesticidas caracterizados como base fraca, quando o pH (solução do solo) for maior que o P_K (pesticida), há uma tendência de sorção do pesticida pelo solo, sempre quando P_H ≤ 7 .

2.9.5. Constante da Lei de Henry (H)

A constante da Lei de Henry (H) é obtida pela equação [2.2], à temperatura constante e em condição de equilíbrio, e refere-se ao coeficiente de partição ar-líquido ou vapor-líquido (Prata, 2002).

$$H = \frac{P_i}{C_i} \quad [2.2]$$

Na eq. [2.2], P_i e C_i representam respectivamente a pressão parcial e a concentração de um componente i na interface ar-água. Quanto maior o valor de H , maior o potencial de volatilização da molécula, que em geral, diminui com o aumento da solubilidade do componente i (Martins, 2006).

Assim, de acordo com Prata (2002), a tabela 7 apresenta tendências de volatilidade de um componente i , em função de valores de H . A maioria dos pesticidas apresentam valores de H inferiores a $10^{-5} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Tabela 7: Tendência de volatilidade de um componente químico.

*Fonte: PRATA, 2002.

Constante de Henry (H - atm m ³ mol ⁻¹)	Volatilidade
$H < 10^{-7}$	Baixa
$10^{-7} < H < 10^{-5}$	Média
$10^{-5} < H < 10^{-3}$	Considerável
$H < 10^{-3}$	Extremamente Importante

2.9.6. Interceptação Foliar

A interceptação foliar de um pesticida sobre as plantas é um fator relevante para a avaliação do destino da substância química no solo (Linders et al., 2000). Esse fator é representado por uma fração (> 0 e ≤ 1), e é obtido em função das seguintes variáveis de influência: formas de aplicação de pesticida, fase de crescimento da planta, densidade da planta e algumas propriedades físico-químicas, tais como pressão de vapor e coeficiente de Henry. Com o

conhecimento da interceptação é possível identificar a fração de pesticida que realmente alcança o solo e, conseqüentemente avaliar o destino ambiental da substância química no solo.

Devido aos diferentes tipos de manejo de solo, aos métodos de aplicação de pesticidas e ao clima, pesquisas realizadas por Linders et al. (2000) destacam muitas dificuldades na obtenção das frações de interceptação de pesticidas. Contudo, a partir dessas pesquisas, foi possível organizar dados sobre interceptação foliar de pesticida, específicos para determinado tipo de cultura.

A tabela 8 apresenta índices de interceptação foliar, organizados de acordo com as fases de desenvolvimento das culturas (Linders et al., 2000). As fases I e IV correspondem respectivamente às etapas iniciais e as fases II e III correspondem às etapas finais de crescimento.

Tabela 8: Índices de interceptação foliar por culturas.

* Fonte: LINDERS, 2000.

	Fator de Interceptação (%)			
	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
Feijão	25	40	70	80
Cebola	10	25	40	60
Repolho	25	80	90	90
Frutas Cítricas	30	50	70	70
Algodão	25	60	70	90
Milho	25	50	75	90
Ervilha	35	55	85	--
Batata	15	50	80	50
Arroz	20	50	70	90
Soja	20	60	90	--
Cenoura	25	50	70	60
Morango	30	50	70	60
Tomate	25	50	70	60

Quando a aplicação de pesticidas ocorre manualmente (spray manual) em culturas muito densas e em fases finais de crescimento, os índices de interceptação foliar tendem a ser mais próximos de 100%.

2.10. Destino do Pesticida no Solo

O destino de um pesticida no solo depende consideravelmente do tipo de processo que a molécula desse pesticida sofre, quando alcança o solo (Prata, 2002). Assim, a molécula do pesticida pode sofrer os seguintes processos: sorção pelo solo (Spark & Swift, 2002; Arias-Estéves et al., 2008; Boivin et al., 2005; Vieira et al., 1999), absorção pelas plantas (Sterling, 1994), degradação (Garcia, 2005), volatilização (Silva, 2004), lixiviação (Abreu, 2008; Rosa et al., 2007; Inque et al., 2003) e escoamento superficial (Ferracini et al., 2001; Prata, 2002; Milhone et al., 2009). De acordo com Damin (2005), os principais fatores que influenciam estes processos são as condições climáticas, as propriedades físico-químicas do pesticida e as características físicas, químicas e microbiológicas do solo.

A figura 2 apresenta todos os processos que influenciam o destino do pesticida no solo.

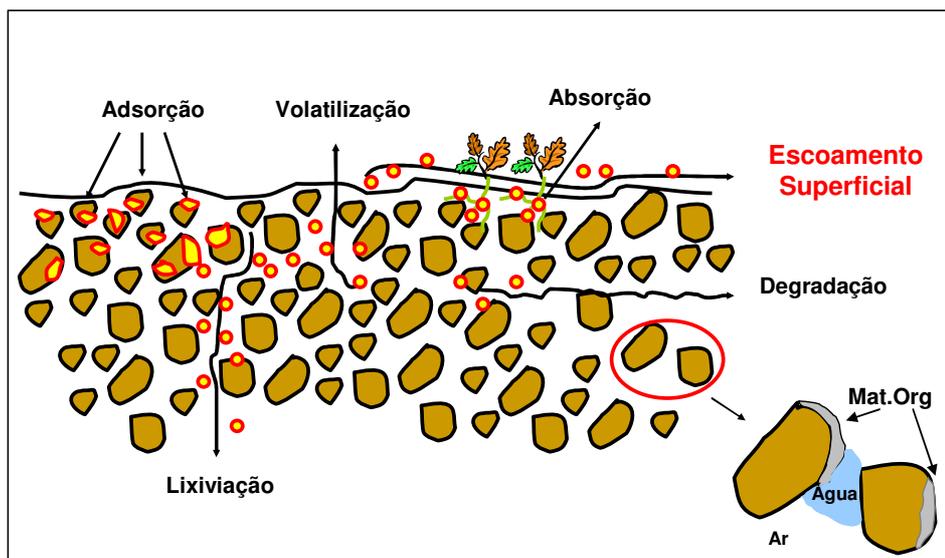


Figura 2: Processos associados no destino do pesticida no solo.

2.10.1.Sorção de um Pesticida no Solo

A sorção do pesticida no solo consiste no processo de retenção das moléculas de pesticidas pela matriz do solo. Dependendo do mecanismo de ligação, isto é, o modo como o pesticida se liga aos colóides do solo, esse processo pode ocorrer por adsorção ou por interação hidrofóbica (Prata, 2002).

De um modo geral, a sorção tende a ser inversamente proporcional à solubilidade do pesticida na água. Assim, a movimentação de pesticidas no solo ocorre mais facilmente quando o grau de solubilidade é alto.

A adsorção é o processo de adesão de uma molécula, um íon ou uma partícula à superfície de uma outra partícula, em função de um campo de força gerado pela superfície do adsorvente (argila, matéria orgânica) e a superfície do adsorbato (pesticida). Dependendo da energia de sorção, isto é, da intensidade com que o pesticida é sorvido, a adsorção pode ser física ou química.

A adsorção física caracteriza-se por envolver baixa energia de sorção, tais como as forças de Van der Waals e a ligação iônica.

A adsorção química é um processo de sorção que envolve elevadas energias de ligação, ocorrendo em tempos curtos e à pequenas distâncias. Enquadram-se nesse processo, as ligações covalentes e as ligações de hidrogênio.

2.10.1.1.Matéria Orgânica no Processo de Sorção

De acordo com Oliveira (2007), a matéria orgânica coloidal dos solos deriva de resíduos vegetais e animais, que após decomposição fornecem nutrientes importantes ao solo. A decomposição da matéria orgânica forma um grupo complexo de compostos de cor escura, conhecida como húmus. Este material resiste à decomposição, e é responsável por manter:

- 1) Boa estrutura de poros, capacidade de retenção de água e nutrientes através da troca catiônica;
- 2) Liberação de nitrogênio, fósforo e enxofre através da mineralização.

Ainda de acordo com Oliveira (2007) a matéria orgânica possui propriedade de adsorver

compostos potencialmente tóxicos, que são adicionados ao solo de maneira intencional, como por exemplo, os herbicidas utilizados na agricultura.

Segundo Prata (2002), a matéria orgânica (presente no solo) pode influenciar consideravelmente na retenção de um pesticida no solo, em duas situações:

1) Quando o mecanismo de ligação da molécula do pesticida com o solo, ocorre em função da interação hidrofóbica (afinidade que uma molécula de pesticida tem em relação à fração orgânica do solo);

A interação hidrofóbica ou partição hidrofóbica está relacionada aos valores de K_{ow} e possui grande influência na sorção de pesticidas não iônicos (Prata et al., 2000).

2) Quando há a formação de resíduo-ligado, ou seja, na interação entre espécies químicas, originadas da transformação ou não de pesticidas, e a matriz do solo (Prata, 2002).

Uma proporção significativa das moléculas de pesticidas aplicadas na agricultura permanece no solo como resíduo-ligado, sendo a matéria orgânica a principal responsável pela formação desses resíduos. As frações húmicas também são importantes no processo de retenção, uma vez que retém fortemente os pesticidas, através do processo de sorção às superfícies externas e penetração nos vazios internos das substâncias húmicas (Prata, 2002)..

2.10.2. Absorção de um Pesticida pelas Plantas

A absorção de um pesticida pelas plantas é o processo que ocorre quando o elemento (na forma iônica ou molecular) passa do substrato para uma parte qualquer da célula da planta (parede, citoplasma, vacúolo). Esse processo pode ocorrer através dos seguintes mecanismos: interceptação radicular, quando a raiz da planta absorve o pesticida, presente na solução do solo; fluxo de massa, quando o pesticida movimenta-se de uma fase móvel (distante da raiz), para uma fase mais seca (próxima da superfície radicular); e por difusão, quando o pesticida

movimenta-se por curtas distâncias, dentro de uma fase aquosa, de uma região de maior concentração para outra de menor concentração.

A interação hidrofóbica caracteriza-se pela afinidade da molécula do pesticida pela fração orgânica do solo. Essa interação está relacionada com os valores de K_{OW} do pesticida e é um fator de grande influência na sorção de pesticidas hidrofóbicos não iônicos.

2.10.3. Degradação e um Pesticida no Solo

A degradação de um pesticida, presente no solo, consiste na alteração de sua estrutura molecular e, ocorre por meios bióticos ou abióticos. Assim, a degradação pode ser classificada em:

__ Degradação Abiótica: ocorre quando o pesticida é degradado pela ação de componentes físicos ou químicos do ambiente;

__ Degradação Biótica ou Biodegradação: ocorre quando enzimas (produzidas por microorganismos) entram em contato com as moléculas do pesticida, dando origem a uma série de reações, tais como: oxidação, redução, hidrólise, desalquilação, descarboxilação, hidroxilação, metilação e desalcoilação.

Dependendo da fração de pesticida degradado, a degradação também pode ser classificada em:

__ Mineralização: quando a degradação ocorre completamente, resultando em CO_2 , H_2O e íons minerais;

__ Metabolização: quando a degradação do pesticida ocorre parcialmente, resultando em subprodutos (metabólitos) (Damin, 2005). De um modo geral, esses metabólitos são menos tóxicos que o pesticida, mas ocasionalmente podem ser mais tóxicos do que a molécula original do pesticida (Prata, 2002).

Em geral, utiliza-se o parâmetro físico-químico do pesticida denominado meia-vida, como indicador de tendência de degradação. A meia-vida de um pesticida expressa o tempo em que 50% da concentração total aplicada estará dissipada no solo. Essa dissipação pode ocorrer através da mineralização, metabolização, formação de resíduo-ligado ou por absorção.

2.10.4.Lixiviação de um Pesticida

A lixiviação de um pesticida é o processo responsável pela movimentação da substância química ao longo do perfil do solo, juntamente com a percolação da solução do solo, em direção ao lençol freático (Mantovani, 2007). Essa movimentação ocorre principalmente devido ao fluxo de água, sendo governado pela diferença de potencial (Prata et al., 2000).

Além do fluxo de água, outros fatores influenciam no processo de lixiviação, tais como: a condutividade hidráulica do solo, características físico-químicas do pesticida, propriedades físico-químicas do solo, condições ambientais e práticas de manejo do solo e do pesticida. A tabela 9 apresenta as especificidades de cada fator de influencia de lixiviação.

Tabela 9: Especificidades dos fatores influentes no processo de lixiviação.

Fatores Influentes	Especificidades
Fluxo de água	Precipitação pluviométrica, irrigação, evapotranspiração.
Condutividade hidráulica do solo	Textura e estrutura do solo.
Características físico-químicas do pesticida	Solubilidade aquosa, pressão de vapor, constante de ionização (ácidos ou bases fracas).
Propriedades físico-químicas do solo	Textura, estrutura, permeabilidade, conteúdo de matéria orgânica, conteúdo de água, pH e atividade microbiana.
Condições ambientais	Clima, precipitação pluvial, temperatura.
Práticas de manejo do solo	Irrigação, tipo de aeração, tipo de cobertura do solo, contenção de enxurradas.

Dentre os fatores que podem influenciar a lixiviação de um pesticida no perfil do solo, tem-se: a precipitação pluviométrica, irrigação, evapotranspiração,

textura e estrutura do solo e, principalmente o grau de sorção entre a substância química e as partículas do solo. Em geral, quanto menor o grau de sorção, maior será a proporção do composto na solução do solo e, conseqüentemente maior será sua mobilidade potencial.

2.10.5. Volatilização de um Pesticida

A volatilização de um pesticida é o processo de mudança de estado da substância química – presente na solução do solo – da fase líquida para a fase gasosa. Este processo é responsável pela distribuição do pesticida das superfícies do solo, planta ou água para a atmosfera.

Dentre os fatores que podem influenciar a volatilização de um pesticida têm-se: calor de vaporização, ventos sobre a superfície e a pressão de vapor do pesticida. Em geral, utiliza-se a pressão de vapor como principal parâmetro de volatilização.

Apesar da pressão de vapor de um pesticida ser um ótimo indicador de volatilização, recomenda-se sempre analisar se o pesticida encontra-se em superfície inerte ou no seu estado livre. Quando o pesticida encontra-se ligado à superfície, a pressão de vapor torna-se um indicador redundante para a volatilização.

2.10.6. Escoamento Superficial

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico, relacionado ao deslocamento da água sobre a superfície do solo, que ocorre durante as chuvas intensas (Pruski et al., 2004). Iniciada a precipitação pluviométrica, parte do volume precipitado é interceptado pela vegetação, parte infiltra no solo e parte é retida em depressões da superfície do terreno. Com a intensificação da precipitação (durante um intervalo de tempo), juntamente com a saturação do solo, as depressões superficiais do terreno são preenchidas, iniciando assim o escoamento. Perdurando o escoamento, é formada uma enxurrada, da qual

irá auxiliar na composição dos córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios (Alencar et al., 2006).

O volume de pesticida a ser transportado no escoamento superficial, depende de fatores de natureza climática e fisiográfica da região (Alencar, 2006), tais como: intervalo de tempo entre a aplicação de pesticida (Mantovani, 2007) e o início das chuvas, precipitação, cobertura vegetal, características do solo, práticas de manejo (Aquino et al., 2008), evapotranspiração, área e declividade do terreno, além do tipo de rede de drenagem (Pruski et al., 2004). Sendo que os principais fatores influentes na magnitude do escoamento superficial são a intensidade da chuva, a capacidade de infiltração do solo e a declividade do terreno (Spohr et al., 2007).

De acordo com Pruski et al. (2004), algumas relações entre o escoamento superficial e os parâmetros de influência podem ser descritas:

— Precipitação: quanto maior a intensidade e duração da precipitação, maior deverá ser o escoamento superficial;

— Cobertura vegetal e Características do Solo: quanto maior a cobertura vegetal e a rugosidade da superfície do solo, menor deverá ser o escoamento superficial;

— Evapotranspiração: quanto maior a evapotranspiração, menor a umidade do solo. E nessas circunstâncias, após precipitação, maior será a taxa de infiltração e conseqüentemente, menor será o escoamento superficial;

— Área e declividade do terreno: quanto maior a área e declividade, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial;

— Rede de drenagem: rede de drenagem muito densa e ramificada permite rápida concentração do escoamento superficial, podendo causar elevadas vazões superficiais.

Dependendo da velocidade de escoamento, pode ocorrer o transporte ou o depósito de partículas presentes no solo. Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial pode transportar compostos químicos, matéria orgânica, sementes e pesticidas, podendo atingir os cursos d'água (Pruski

et al., 2004). De acordo com Schriever et al. (2007), o escoamento superficial é um dos principais meios de transporte de pesticidas para os corpos d'água.

2.10.6.1. A influência do Solo no Escoamento Superficial

O solo desempenha um papel importante no escoamento superficial (Spohr et al., 2009). De acordo com Brandão et al. (2009), entre as propriedades físicas do solo que exercem influência nos processos erosivos e que podem ser alteradas em decorrência do tipo de manejo, destacam-se:

__ Textura: Adquire grande importância na interação entre o solo, a água, a planta e a atmosfera, interferindo na capacidade de infiltração, na evaporação, no suprimento de nutrientes, no escoamento superficial e na perda de nutrientes (Brandão et al., 2009).

__ Porosidade: Refere-se à porção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa do solo e que tem influência direta sobre o grau de compactação do solo (Brandão et al., 2009).

__ Densidade Aparente: Relaciona-se de maneira inversa com a porosidade, i.e., à medida que a densidade aparente aumenta, a porosidade diminui, conseqüentemente ocorre à redução da infiltração da água no solo. A densidade aparente tende a aumentar, quando se aumenta a profundidade do perfil do solo, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores que provocam a compactação do solo e, conseqüentemente reduzindo a porosidade (Brandão et al., 2009).

2.11. Valores Máximos Permitidos de Pesticidas em Água

No Brasil, os valores máximos permitidos (VMP) de pesticidas em água são definidos por padrões de potabilidade (Brasil, 1990, 2001 & Ribeiro et al., 2008) e de qualidade ambiental (Brasil, 1986 & Ribeiro et al., 2008) para um número restrito de pesticidas, sendo alguns desses com uso proibido na década de 1980. Os procedimentos e as responsabilidades relativas ao controle e à vigilância da água, juntamente com a descrição da quantidade de ingredientes ativos são estabelecidos pela Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004 (Brasil, 2004) e citado por Ribeiro et al. (2008). Assim, a tabela 10, apresenta os valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos para pesticidas em água.

Tabela 10: Valores Máximos Permitidos (VMP) para Pesticidas em Água.

Fonte: Ribeiro et al. (2008).

Pesticidas	Valores Máximos Permitidos (VMP) ug/L
Alaclor	20
Aldrin e Dieldrin	0,03
Atrazina	2
Bentazona	300
Clordano	0,2
2,4 D	30
DDT	2
Endossulfan	20
Endrin	0,6
Glifosato	500
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	0,03
Hexaclorobenzeno	1
Lindano (g-BHC)	2
Metolacloro	10
Metoxicloro	20
Molinato	6
Pendimetalina	20
Pentaclorofenol	9
Permetrina	20
Propanil	20
Simazina	2
Trifluralina	20

Apesar da tabela 10 não apresentar o pesticida paraquat, segundo Bastos et al. (2004), o VMP de paraquat em água é 10 µg/L.

2.12. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

De acordo com Burrough (1986) e citado em Câmara Neto (1995), o SIG (Sistema de Informação Geográfica) é um conjunto poderoso de ferramentas capazes de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real.

Um SIG possui duas principais características (Câmara Neto, 1995):

- 1) Capacidade de integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- 2) Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e representar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Conforme descrito por Burrough (1986) e posteriormente citado por Prado (2004), um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando que os dados armazenados representam um modelo do mundo real. Para tanto, é importante destacar a necessidade de profissionais ou responsáveis pelo projeto, implementação e uso do SIG adequadamente capacitadas e com visão de contexto global (Prado, 2004).

Existem na literatura diversos softwares desenvolvidos para fins de SIG, tais como: SPRING, ARCGIS, VISIONGIS, QGIS, IDRIS.

Para esta tese foi utilizado o software Arcgis 9.2, pelos motivos abaixo listados:

- ___ Conhecimento prévio do autor desta tese, no que tange á operacionalização do software;
- ___ A disponibilidade de acesso ao software;

- ___ Uso em comum por boa parte dos pesquisadores envolvidos nesta pesquisa;
- ___ Eficiência e potencialidade na operacionalização e na apresentação dos resultados.

2.12.1. Representação Vetorial e Matricial

No universo de representações geométricas de um SIG, existem duas importantes classes de representações: representação vetorial e representação matricial.

2.12.1.1. Representação Vetorial

A representação vetorial caracteriza-se pela tentativa de reproduzir um elemento ou um objeto o mais exato possível (Câmara Neto, 1995). Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos,, linhas e polígonos (áreas).

A figura 3 representa uma estrutura vetorial poligonal, onde cada polígono é destacado com uma cor, em função de uma classificação requerida.

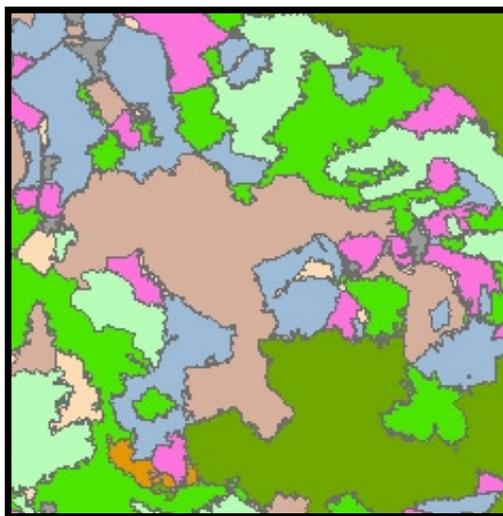


Figura 3: Estrutura vetorial poligonal.

Quando os dados vetoriais estão associados à valores com variação espacial de grandeza numérica, a representação pode ser realizada a partir das seguintes estruturas:

— Conjunto de isolinhas: também denominadas curvas de nível, são constituídas por linhas associadas a valores numéricos. Essas linhas não se cruzam e, são compreendidas por sobreposição;

A figura 4 representa uma estrutura vetorial isolinha:

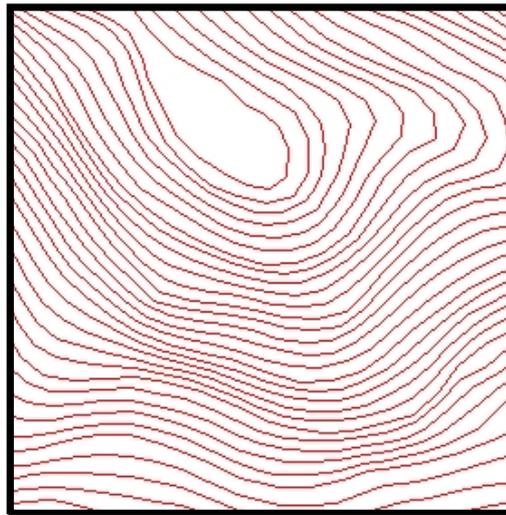


Figura 4: Estrutura Vetorial Isolinha.

— A malha triangular ou TIN (Triangular irregular network): estrutura com topologia formada por nós e arcos, que representam uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Coordenadas de um ponto são obtidas a partir de informações de dois pontos, tomados como referência.

A figura 5 representa um esboço de uma estrutura formato TIN.

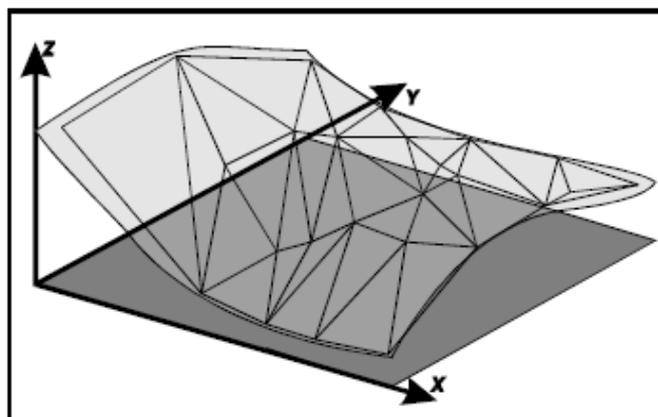


Figura 5: Estrutura Vetorial TIN.

2.12.1.2. Representação Matricial

A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular, da qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado (Câmara Neto, 1995). Assim, as estruturas matriciais são representadas por uma matriz com n linhas e m colunas, $M(n, m)$, onde cada célula, denominada pixel, está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno.

As figuras 6 e 7 representam respectivamente a estrutura matricial e uma comparação visual entre as imagens poligonal e matricial.

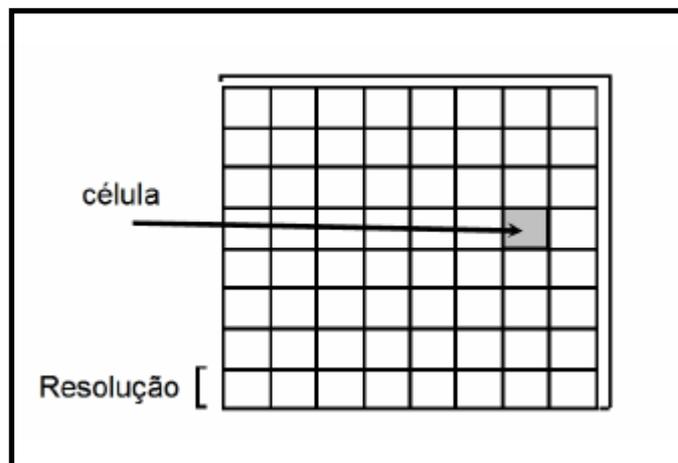


Figura 6: Estrutura matricial.

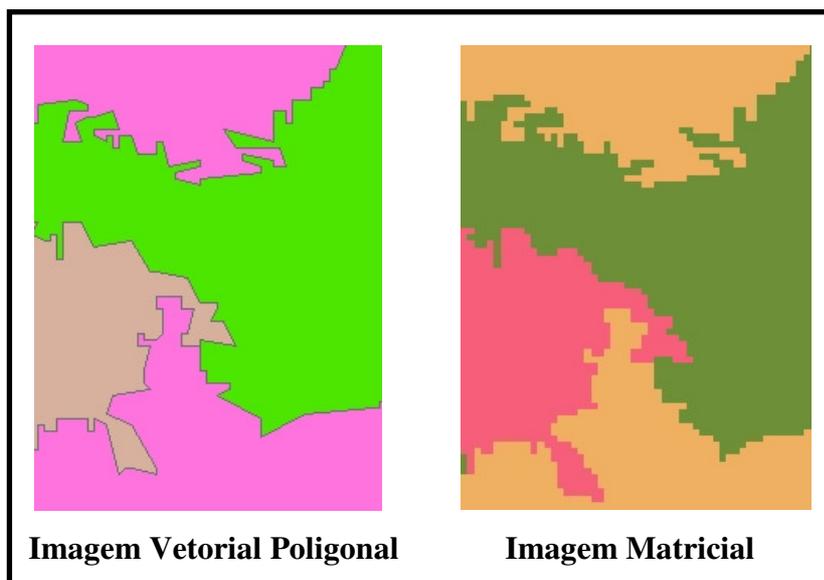


Figura 7: Estrutura Poligonal e Matricial.

2.12.2. Software Arcgis 9.2

O Arcgis 9.2 é uma versão do software Arcgis Desktop, desenvolvido pela ESRI (GIS and Mapping Software) para fins de SIG. Dependendo do propósito de uso, disponibilidade de dados e experiência do usuário, há três possibilidades de instalação do Arcgis 9.2, a saber:

- 1) Arcview: foca sobre uso, análise de dados e representação de mapas;
- 2) Arceditor: adiciona edição e criação de dados geográficos avançados;
- 3) Arcinfo: é mais completo e contempla funcionalidades e ferramentas ricas em geoprocessamento.

Para qualquer que seja a escolha de instalação do software Arcgis 9.2, existem três aplicativos principais, a saber:

- 1) Arcmap: é a principal aplicação do Arcgis, sendo utilizada para tarefas de mapeamento, edição e análises de mapas e seus respectivos dados.
- 2) Arccatalog: aplicação que ajuda os usuários a organizar e gerenciar toda a informação geográfica, tais como mapas, dados de campo, base de dados geográficos e ferramentas de geoprocessamento.
- 3) Arctoolbox: uma coleção organizada de ferramentas de geoprocessamento.

2.13. Modelagem Matemática

Segundo Iritani (1998) e citado por Bonganha et al. (2007), a modelagem matemática consiste na representação matemática do que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual (ou matemático), idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações do sistema do mundo real, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema atual, possibilitando rever situações futuras, sempre buscando direcionar ações de decisão.

A modelagem matemática pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento e, também para diversos fins, tais como: economia, biologia, geografia, química, física e nas diversas especificações das engenharias.

Considerando a enorme preocupação com os problemas ambientais e, a necessidade de se prever os possíveis impactos no ambiente, a aplicação da modelagem matemática no âmbito ambiental têm se tornado cada vez mais importante (Bonganha et al., 2005).

2.13.1. Modelo Matemático

Um modelo matemático é uma representação matemática criada para representar fenômenos ou fenômenos ou processos do mundo real (Felgueiras, 2001) e de acordo com Silva (2006) pode apresentar dois tipos de soluções:

— Soluções Analíticas: Constituem um conjunto de equações matemáticas destinadas a solução de uma classe específica de problema.

— Soluções Numéricas: Resultam no emprego de um conjunto de equações, utilizadas para descrever um determinado processo, que pode dar origem a um modelo matemático de simulação (Silva, 2006).

2.13.1.1. Modelo Matemático de Simulação

Segundo Silva (2006) os modelos matemáticos para simulação são desenvolvidos através de uma função f que produz uma saída y a partir de entradas de x e parâmetros de um sistema p . Sendo os fatores x , y e p uma variável, um vetor ou uma matriz.

A figura 8 apresenta a estrutura geral de funcionamento de um modelo de simulação:

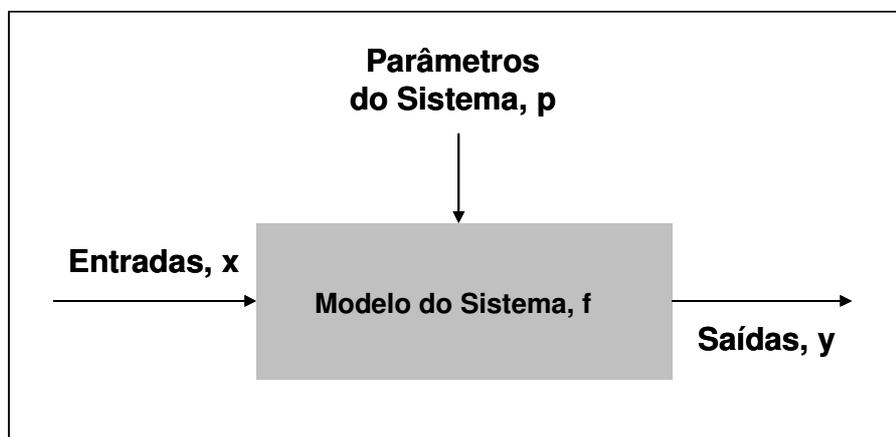


Figura 8: Estrutura de funcionamento de um modelo de simulação.

* Fonte: SILVA (2006).

2.13.1.2. Classificação dos Modelos Matemáticos

De acordo com Silva (2006) um modelo matemático pode ser classificado como determinístico ou estocástico, estático ou dinâmico, discreto ou contínuo.

Seguem abaixo as características de cada classificação de um modelo matemático:

__ Modelo Determinístico: É um modelo em que, para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída Ferraz et al. (1999). Para esse tipo de modelo não são consideradas variáveis aleatórias, i.e., sem conceitos probabilísticos (Renno & Soares, 2003).

__ Modelo Estocástico: Quando pelo menos uma das variáveis envolvidas no sistema apresenta comportamento aleatório (Renno & Soares, 2003).

__ Modelo Estático: É um modelo que possibilita a descrição do estado do sistema somente para dado momento (Silva, 2006), i.e., quando com um conjunto de dados de entrada produz-se um resultado, oriundo da solução das equações do modelo em um único passo (Renno & Soares, 2003)..

__ Modelo Dinâmico: É um modelo desenvolvido para representar o estado do sistema em função do avanço da variável tempo (Silva, 2006)

__ Modelo Discreto: Quando o avanço da variável tempo é procedido quando da ocorrência de um evento (Silva, 2006).

__ Modelo Contínuo: Quando o avanço de tempo é precedido de forma contínua, i.e., em intervalos de tempo com valores iguais (Silva, 2006).

2.13.2. Modelagem Ambiental

A modelagem ambiental é considerada uma das metodologias mais importantes e muito utilizadas na previsão e avaliação de impactos e processos

que ocorrem no ambiente (Goodchild, 1993). Ainda de acordo com Goodchild (1993), é possível encontrar na literatura estudos realizados a centenas de anos atrás, sobre modelos de aproximações numéricas e analíticas, nas áreas de biologia e ecologia.

Segundo Felgueiras (2001), os modelos ambientais são simplificações da realidade, de onde se abstraem os elementos mais importantes para uma aplicação, e são construídos a partir da observação dos dados espaciais e seus relacionamentos. Ainda de acordo com Felgueiras (2001), os modelos ambientais são utilizados para aumentar o conhecimento sobre um processo, predizer valores ou comportamentos em determinadas áreas e comprovar, ou não, hipóteses feitas sobre processos.

Dentre as diversas aplicações, a modelagem ambiental pode ser utilizado para estudos sobre: sistemas hidrológicos, processos que ocorrem na superfície e subsuperfície, modelos biológicos e ecológicos e modelos integrados em ambiente SIG.

2.13.2.1. Modelagem em Ambiente SIG

De acordo com Felgueiras (2001), modelagem em ambiente SIG consiste na implementação de um modelo matemático, que representa um fenômeno natural, no contexto de um Sistema de Informação Geográfica. Os modelos utilizados para esse fim, podem ser classificados em:

- 1) Modelos Lógicos – quando um atributo de saída é obtido a partir de aplicações de regras lógicas simples sobre os atributos de entrada;
- 2) Modelos Empíricos – são fundamentados a partir de experiências ou conhecimentos obtidos por percepção dos fenômenos ambientais;
- 3) Modelos Conceituais ou Modelos Físicos – são desenvolvidos a partir do entendimento dos processos físicos do fenômeno que está sendo modelado.

Segundo Heuvelink (1998) e citado por Felgueiras (2001), na prática, muitos modelos ambientais contêm componentes empíricas e conceituais, tais como os modelos de erosão de solo e os modelos para fins agrícolas.

Modelos hidrológicos, que são representações matemáticas do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície terrestre, são também muito utilizados em ambiente SIG. De acordo com Santos & Zeilhofer (2005) a integração dos modelos hidrológicos em ambientes SIG propicia a possibilidade de padronização de bacias hidrográficas, além de facilitar: a manipulação de informações do modelo que agrega; as equações matemáticas; os mapas da região de estudo; os dados numéricos e, sobretudo permite a visualização e avaliação dos resultados no contexto geográfico.

É possível encontrar na literatura diversas pesquisas sobre modelagem ambiental em ambiente SIG, tais como:

— Em Machado et al. (2003), que aplicou o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), com interface em ambiente SIG, em uma microbacia hidrográfica, com o objetivo de simular o escoamento e a produção de sedimentos.

— Marra (2009), que apresentou um modelo computacional em interface com o SIG, através do ARCVIEW (ESRI), com o objetivo de definir a quantidade de nitrogênio e fósforo, que ficam disponíveis no solo e posteriormente são transportados através do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica.

— Barros (2008) que utiliza o modelo MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems) em ambiente SIG, com o objetivo de quantificar a emissão de nutrientes, provenientes de fontes pontuais e difusas, em uma bacia hidrográfica, destacando a importância em se prevenir a eutrofização dos corpos d'água.

— Pessoa et al. (2003) que estudou a elaboração de mapas de risco de contaminação das águas subterrâneas de uma microbacia, através do simulador CMLS-94 em interface com o sistema de informações geográficas IDRISI.

— Zeilhofer et al. (2003) que descreve a integração do modelo de simulação de qualidade da água QUAL2E em ambiente SIG, através do software ARCVIEW

(ESRI), destacando a automatização do modelo e a visualização dos resultados da modelagem em ambiente SIG.

2.13.2.1.1. Modelos para Escoamento Superficial de Pesticidas

Devido à possibilidade de transporte de poluentes e de pesticidas, através do escoamento superficial, muitos modelos têm sido desenvolvidos, com o objetivo de simular e avaliar as quantidades, as concentrações e os prováveis danos ambientais, causados pelo transporte desses pesticidas.

É possível encontrar na literatura diversos trabalhos sobre o escoamento superficial de pesticidas, tais como:

__ Li et al. (2003) que desenvolveram um modelo integrado ao SIG, com o objetivo de prever a perda de pesticidas, principalmente o pesticida atrazina, através do escoamento superficial em campos da agricultura, em Ontário (Canadá). Com isso, foi possível monitorar os resultados, analisando as razões e indicar soluções efetivas para o controle na aplicação de pesticidas;

__ Chen et al. (2005) que apresentaram o desenvolvimento de um modelo denominado PeLM (Pesticides Losses Model), com interface em ambiente SIG, com o objetivo de simular a perda de pesticidas através do escoamento superficial e transporte de sedimentos em bacia hidrográfica;

__ Barra et al. (2000) que aplicaram um modelo de fugacidade de multimeios, denominado SoilFug e com interface com ambiente SIG, com o objetivo de prever a presença de pesticidas em águas superficiais em bacia hidrográfica. Este estudo combinou 14 unidades geográficas uniformes, para então estimar concentrações de pesticidas em rios;

__ Tian et al. (1997) que estudaram a integração do modelo matemático EPIC-PST com interface em ambiente SIG, com o objetivo de avaliar o potencial de perdas de pesticidas através dos processos de lixiviação e escoamento superficial de inseticidas, no sudoeste de Oklahoma.

— Probst et al. (2005) que utilizaram o modelo REXTOX (Ratio of Exposure to toxicity – proposto inicialmente em OECD (2000), em interface com ambiente SIG, com o objetivo de estimar concentrações de pesticidas em córregos, após escoamento superficial. Esta pesquisa foi desenvolvida para 737 sítios, localizados em uma bacia hidrográfica na Alemanha.

2.13.3. Modelo Utilizado (Tese)

Para esta tese, foi utilizado o modelo REXTOX, por utilizar em sua equação geral (descrita no cap.3.4.6.), fatores importantes no escoamento superficial, tais como: índice de escoamento, degradação do pesticida, sorção do pesticida pelo solo, interceptação foliar, declividade da região. Apesar de não apresentar em sua equação geral, o fator de lixiviação do pesticida, este modelo possui a vantagem de considerar qualquer processo de lixiviação, embutido no índice de escoamento superficial (descrito com mais detalhes no cap.XX).

Segundo Probst et al. (2005), o modelo REXTOX foi proposto inicialmente pela OECD (2000), com o objetivo de simular a porcentagem de pesticida (após aplicação), presente no escoamento superficial. Posteriormente, este modelo foi utilizado por Berenzen et al. (2004), onde também simulou concentrações de pesticidas, no escoamento superficial.

O modelo REXTOX foi modificado e adequado para esta tese, uma vez que desconsidera o fator declividade em sua equação geral, incluindo este fator numa etapa de simulação em SIG. Dessa forma, busca-se a obtenção de resultados quantitativos e qualitativos mais significativos, com relação à presença de paraquat no escoamento superficial, uma vez que os resultados são ponderados em função da variação da declividade na área de estudo.

3 Materiais e Métodos

3.1. Localização da Área de Estudo

A modelagem - proposta nesta tese - foi desenvolvida especificamente para cinco parcelas experimentais de acordo com o padrão Wischmeier (1959), demarcadas com dimensões 4,0 m x 22,0 m no interior da propriedade rural “Sítio da Cachoeira” – localizada em Barra Alegre, 4º Distrito do município de Bom Jardim, na região da Microbacia do córrego Pito Aceso (inserido na bacia do rio Paraíba do Sul), com coordenadas geográficas 22° 09’62”S e 42°17’14”W e com altitudes em torno de 900 m (Prado, 2008).

O município de Bom Jardim está localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro e, caracteriza-se pelo clima mesotérmico úmido e temperaturas elevadas e bem distribuídas ao longo do ano (Mendes, 2005).

Considerando os objetivos do presente estudo e de acordo com as pesquisas realizadas por Mendes (2005), seguem abaixo as características mais relevantes da região para o desenvolvimento desta tese:

- 1) É considerado um dos maiores produtores de oleráceas (espécies vegetais de cultivos temporários) da região;
- 2) Possui alto índice de utilização de pesticidas;
- 3) Localiza-se no bioma de Mata Atlântica, onde ocorrem as principais cabeceiras de mananciais que abastecem a cidade do Rio de Janeiro;
- 4) Possui extensão e percentual de florestas significativas, em relação à sua área total;
- 5) Possui relevo montanhoso e intenso regime pluviométrico (1400 mm/ano concentrados no verão), o que potencializa processos erosivos e

consequentemente possibilidade de transporte de pesticidas e fertilizantes para os rios, causando poluição ambiental e contaminação ambiental.

As figuras 9 e 10 apresentam a localização do município de Bom Jardim e da microbacia do córrego Pito Aceso.

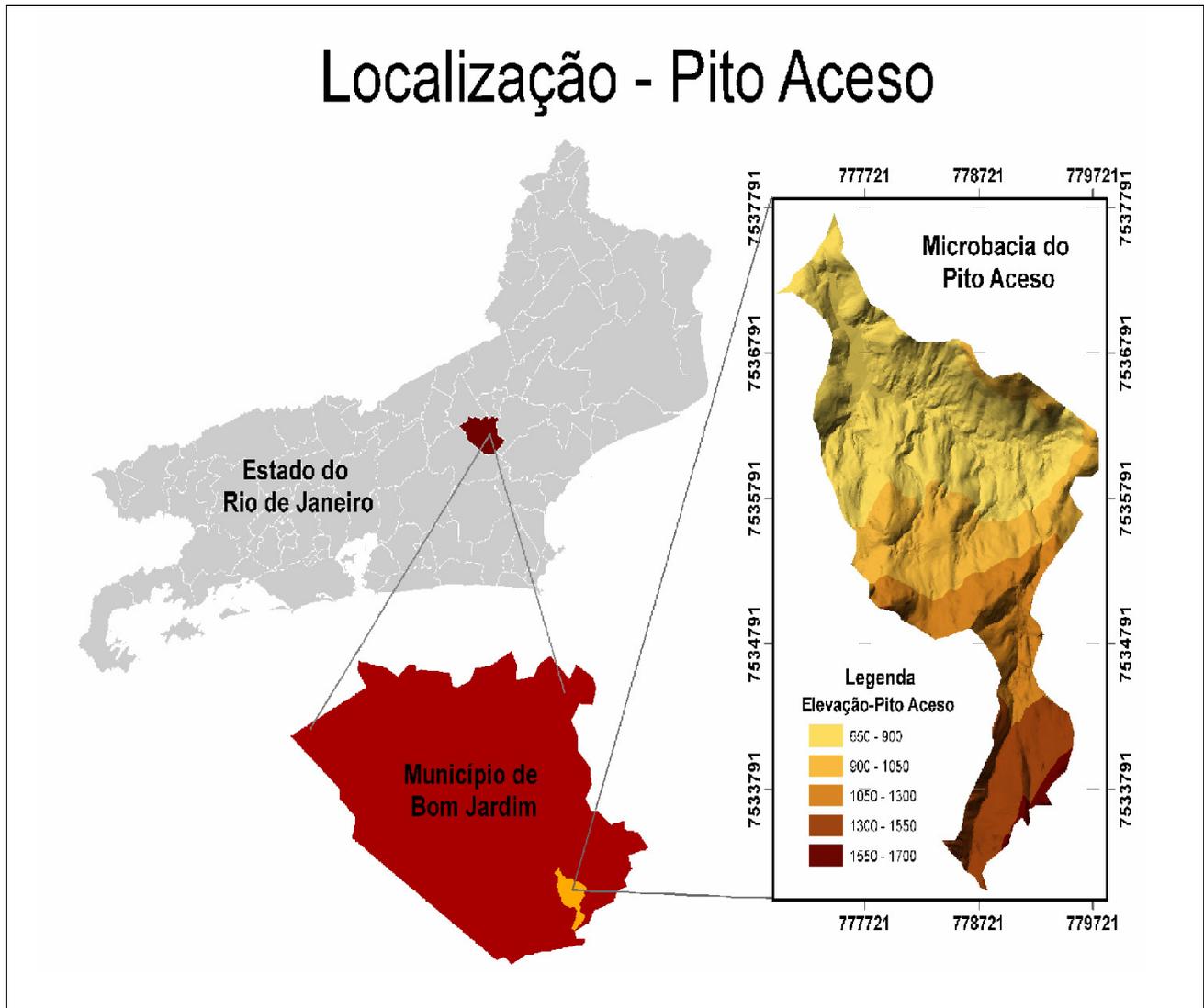


Figura 9: Localização da microbacia do córrego Pito Aceso

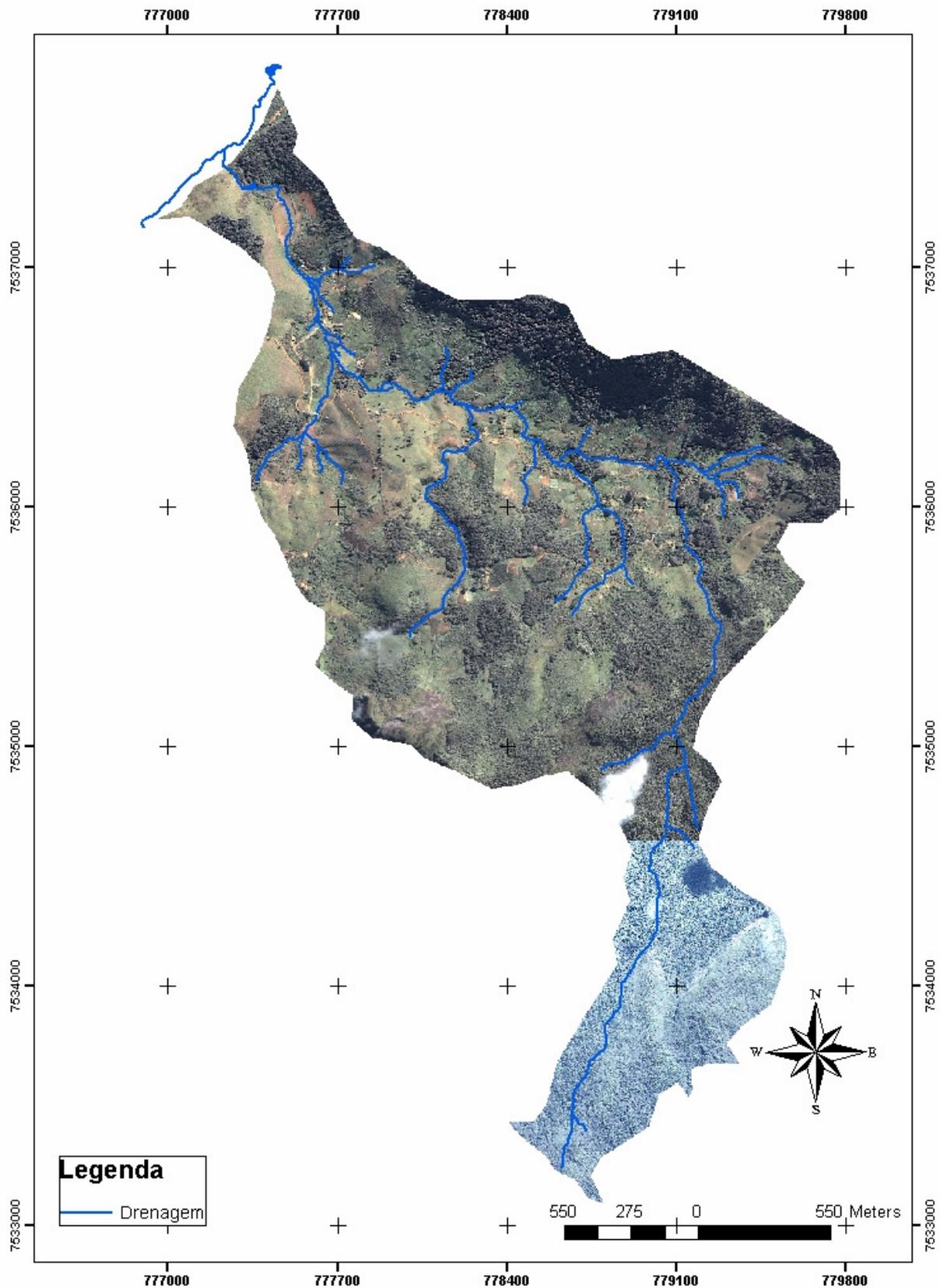


Figura 10: Imagem da Microbacia do Córrego Pito Aceso.

Imagem IKONOS, 2001. Fonte: Projeto PUC-Rio e EMBRAPA SOLOS.

Escala Original 1: 5 000.

3.2. Uso e Cobertura do Solo na Microbacia de Estudo

Com o objetivo de auxiliar na localização das parcelas e principalmente para a simulação na microbacia, foi obtido um mapa de uso e cobertura do solo da microbacia do Córrego Pito Aceso, conforme apresentado na figura 11:

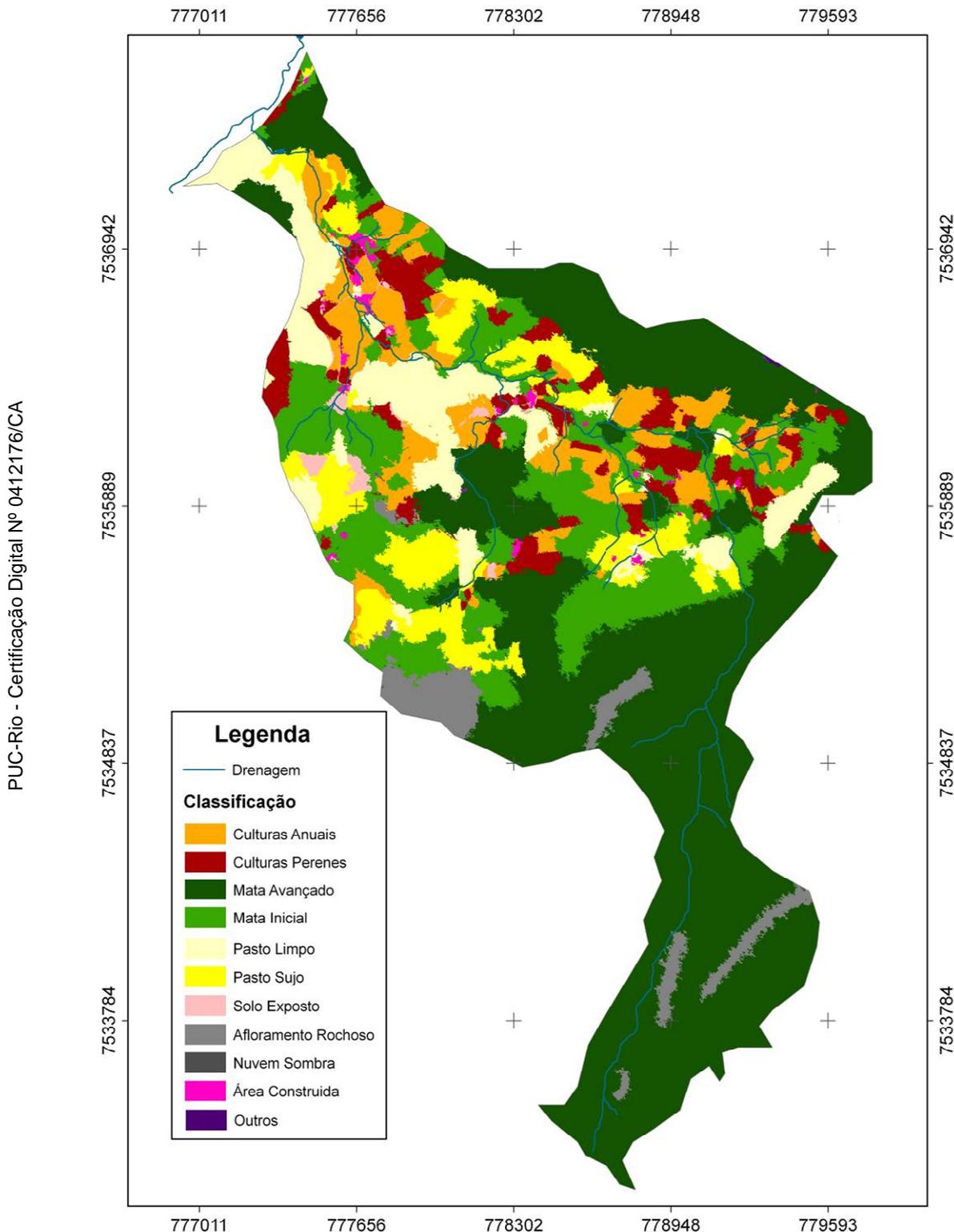


Figura 11: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Microbacia do Córrego Pito Aceso - RJ

Fonte: XXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais – Fortaleza, 2009. Escala Original 1: 5 000.

3.3. Localização das Parcelas Experimentais na Microbacia

As figuras 12 e 13 apresentam a localização das parcelas experimentais na microbacia do Córrego Pito Aceso.

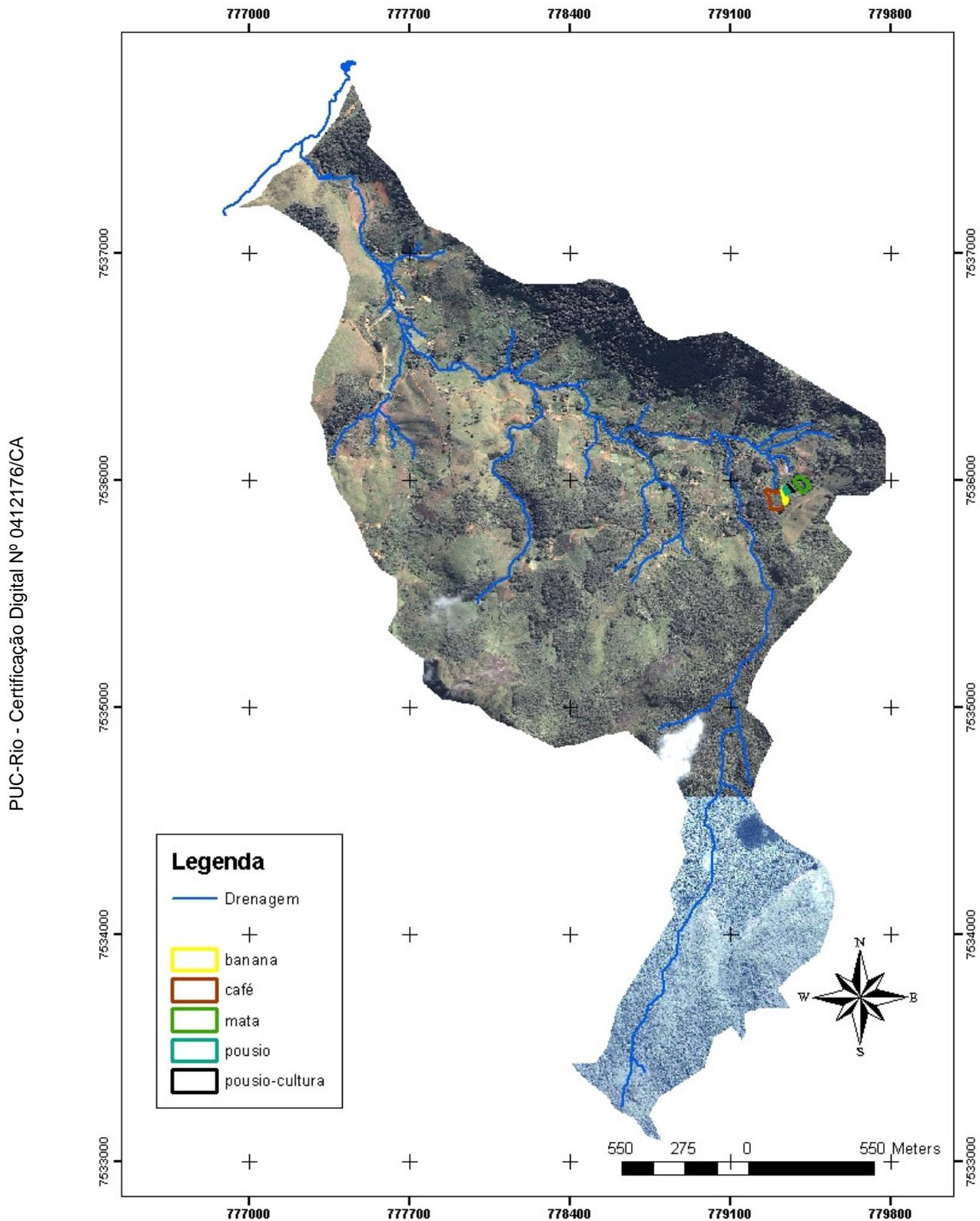


Figura 12: Localização das Parcelas Experimentais na Microbacia do Córrego Pito Aceso.

Imagem IKONOS, 2001. Fonte: Projeto PUC-Rio e EMBRAPA SOLOS. Escala Original 1: 5 000.

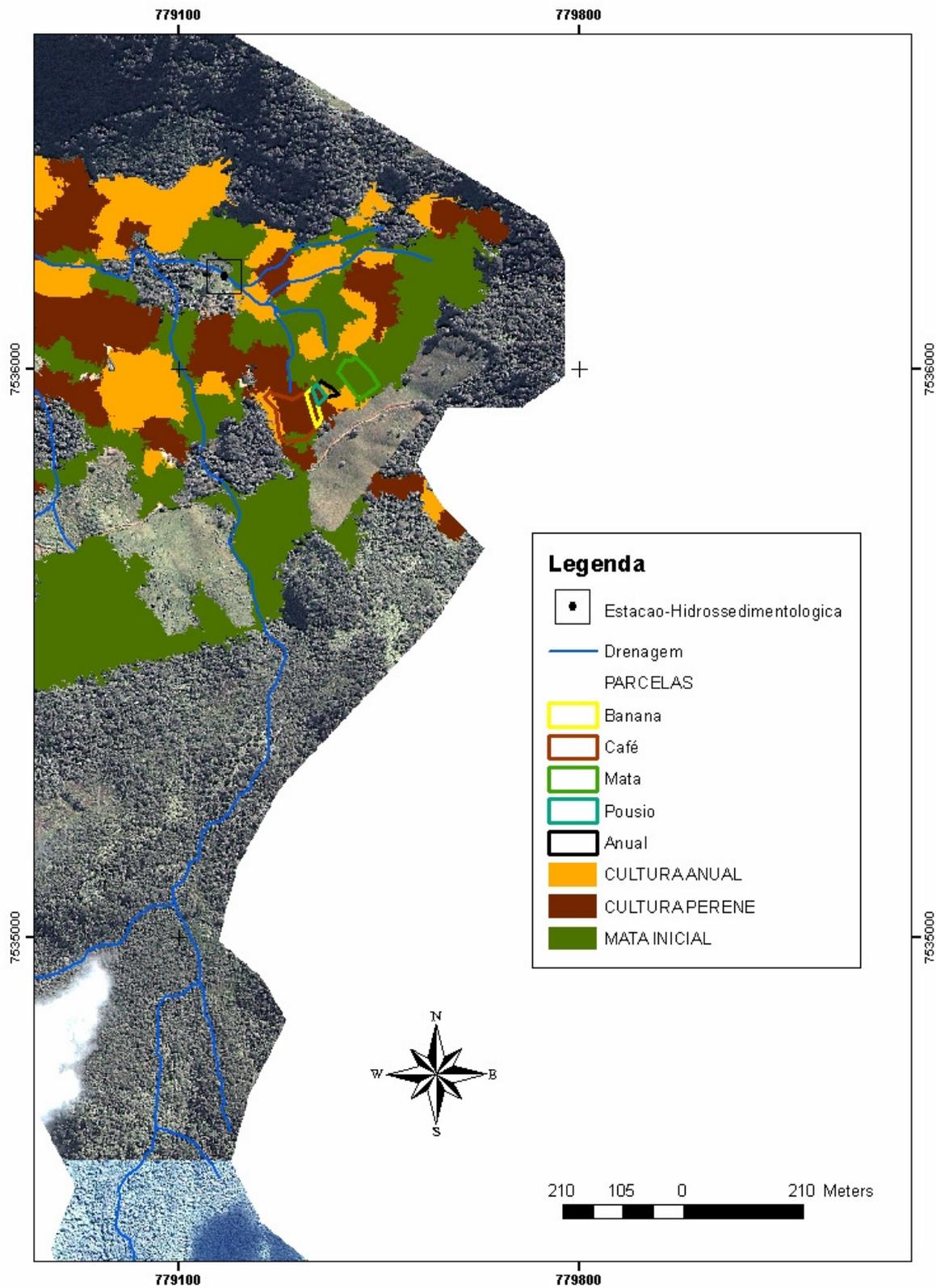


Figura 13: Localização Ampliada das Parcelas Experimentais na Microbacia do Córrego Pito Aceso.

Imagem IKONOS, 2001. Fonte: Projeto PUC-Rio e EMBRAPA SOLOS. Escala Original 1: 5 000

3.3.1. Parcelas Experimentais

As figuras 14 e 15 apresentam, respectivamente, o local onde as parcelas foram instaladas e a estrutura das parcelas experimentais Wischmeier (1959) de dimensões 4,0 m x 22,0 m utilizadas na modelagem desta tese.



Figura 14: Local de Instalação das parcelas experimentais. Fonte: Mendes, 2005

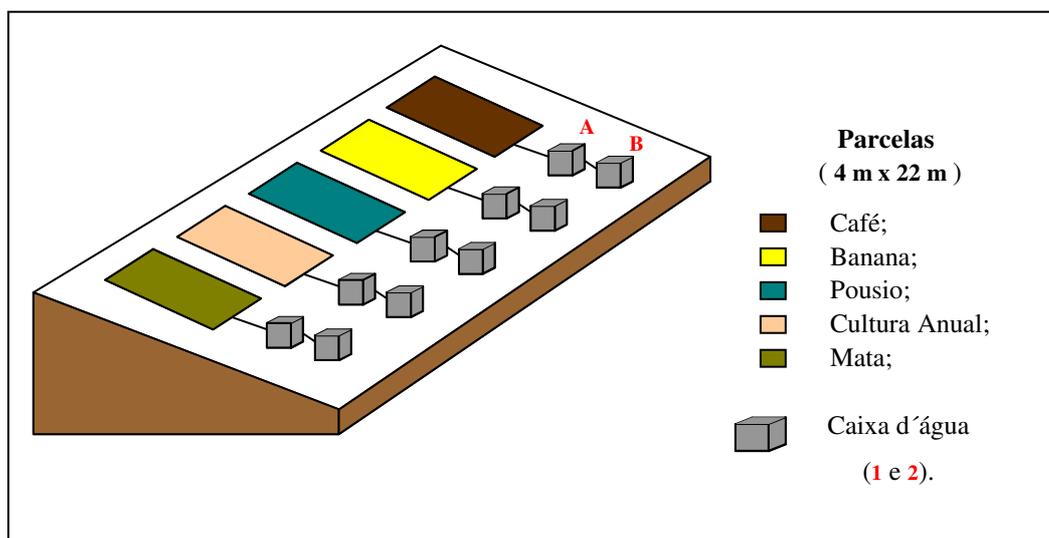


Figura 15: Estrutura das parcelas Wischmeier.

Na Figura 15, a parcela relativa ao Pousio corresponde ao sistema agroflorestal de pousio, ou de agricultura migratória, que se caracteriza como a forma de uso do solo com o descanso florestal, com o objetivo de repor os

nutrientes exportados pela produção agrícola e melhorar as características físicas e biológicas do solo (Mendes, 2005).

As parcelas foram delimitadas com chapas de zinco nº 16, com 2,0 m de comprimento e 30,0 cm de largura, cravadas no solo até 10,0 cm de profundidade e com 20,0 cm exposto à superfície (Mendes, 2005). Foram construídas, ao redor de cada parcela, calhas (também de zinco), com a finalidade de conduzir o escoamento para o centro, para então ser transportado para caixas d'água, através de tubos (PVC) de ligação.

A caixa d'água A possui 500 L e contém um balde de 30 L para abastecimento do escoamento inicial. A caixa d'água B possui 1000 L e foi instalada para armazenar o escoamento, na possibilidade da caixa A estar completamente cheia d'água.

A figura 16 apresenta as imagens das caixas d'água instaladas, juntamente com o balde contido na caixa A.



Figura 16: Caixas d'água de armazenamento de escoamento superficial.

3.4. Estrutura da Metodologia

Na ilustração 2 encontra-se um resumo da metodologia, representada através de um fluxograma.

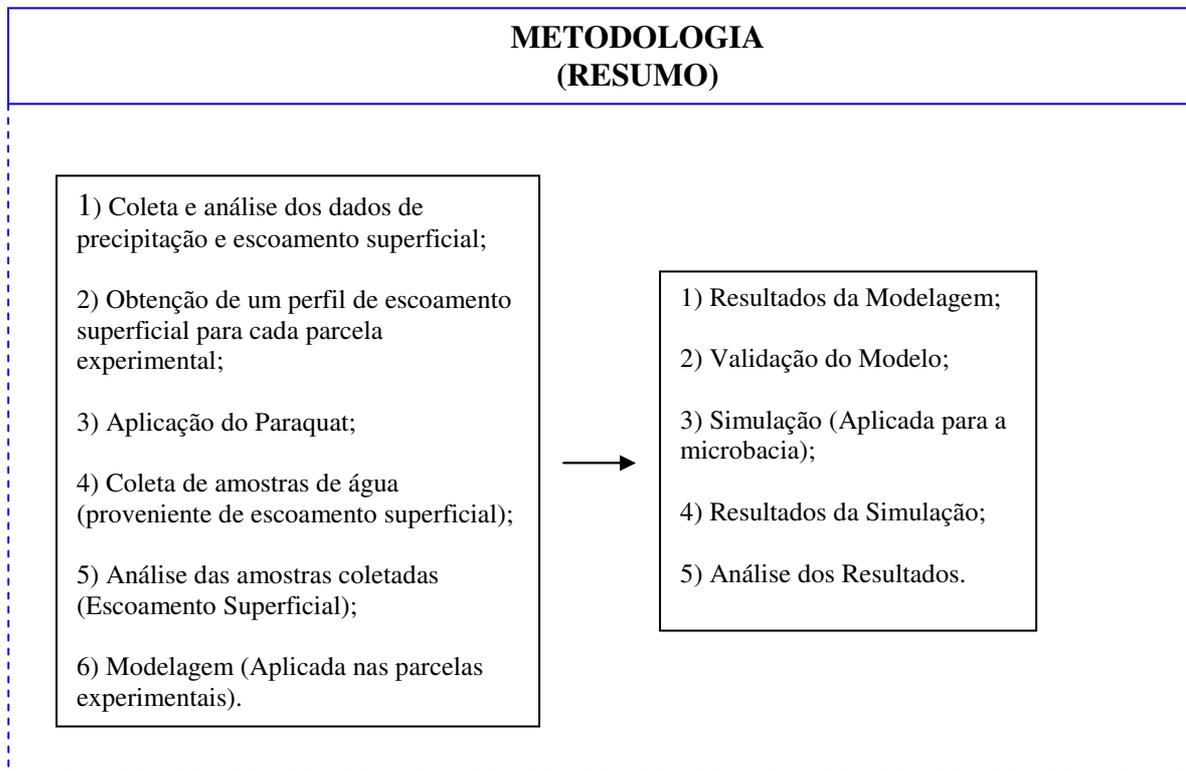


Ilustração 2: Resumo da metodologia.

3.4.1. Coleta e Análise dos Dados de Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos de dois modos distintos:

__ Através de medições artesanais (somente quando confirmado a ocorrência de escoamento superficial) realizadas manualmente pelo técnico de campo, Alexandre.

__ Através de uma estação hidrossedimentológica instalada na bacia. Os dados foram coletados periodicamente pela Embrapa-Solos e tabulados posteriormente no Excel;

A estação hidrossedimentológica (Localizada na Figura 13) foi configurada para leitura em intervalos de 15 minutos. A figura 17 apresenta as imagens desta estação instalada na bacia de estudo.



Figura 17: Estação hidrossedimentológica.

3.4.2. Coleta e Análise dos Dados do Escoamento Superficial

O escoamento superficial relativo à área de estudo foi analisado a partir de medições do volume acumulado e armazenado nas caixas d'água, após chuvas intensas. Para medir o escoamento superficial (mm) nas caixas d'água, foi desenvolvido uma curva empírica para o balde (contido na caixa A), a partir de uma relação estabelecida entre diferentes profundidades do balde, juntamente com seus respectivos volumes. Desta forma, o escoamento pôde ser medido em cada parcela Wischmeier, respeitando as seguintes etapas:

- 1) Identificação da presença de solução (proveniente do escoamento) no balde;
- 2) Registro da data do escoamento;
- 3) Medição e registro da precipitação (mm) que causou o escoamento;
- 4) Medição e registro do escoamento (mm) presente no balde;

5) Organização dos dados em tabelas, contendo a data do escoamento, precipitação (mm) e escoamento (mm).

Analisando simultaneamente os dados de escoamento superficial e precipitação durante um período de três anos (2006 - 2008), verificou-se maior incidência de escoamento superficial em períodos chuvosos, sobretudo no verão. Com isso, optou-se em restringir as análises de precipitação e escoamento superficial exclusivamente para as estações de verão, mais precisamente, verão de 2006-2007 e verão de 2007-2008.

Além disso, com o objetivo de determinar as intensidades, respectivamente de precipitação e escoamento, os dados da estação hidrossedimentológica foram analisados, considerando as seguintes etapas:

- 1) Destaque dos dias em que houve escoamento superficial;
- 2) Cálculo da média das precipitações (mm) ocorridas em cada um dos dias destacados (em que houve escoamento superficial);
- 3) Cálculo da duração da precipitação intensa (precipitações ocorridas acima da média do dia);
- 4) Tabulação dos dados de precipitação, escoamento e duração da chuva intensa, para posterior cálculo das intensidades de chuva e escoamento.

A partir de cada dado de precipitação (mm/min) e escoamento (mm/min) tabulado, foi possível calcular um coeficiente de escoamento superficial, utilizado para indicar a fração da precipitação que escoou superficialmente.

$$\text{Coef. Esc} = 100 * \frac{\text{Esc}}{\text{P}} \quad [3.1]$$

Coef. Esc – Coeficiente de Escoamento Superficial;

Esc – Escoamento (mm/min);

P – Precipitação (mm/min).

Com o conhecimento das intensidades de precipitação e escoamento, foi possível desenvolver uma curva polinomial para cada parcela de estudo (Probst, 2005 & Pruski, 2004) e, por consequência uma equação polinomial do escoamento superficial, representado por:

$$\text{Esc (P)} \quad [3.2]$$

Onde:

Esc – Escoamento (mm/min);

P – Precipitação (mm/min).

Todas as curvas polinomiais obtidas encontram-se no cap.4.1 e anexo 7, juntamente com tabelas contendo dados de precipitação, escoamento e duração das chuvas intensas.

3.4.3. Aplicação do Paraquat

O paraquat foi aplicado em cada parcela wischmeier (com exceção da parcela pousio), através de pulverizadores terrestres costais manuais, com uma taxa de aplicação de 1,5 L/ha, conforme consta na tabela 11. A aplicação do paraquat ocorreu durante o período chuvoso, mais precisamente durante a estação do verão, antes da coleta de água (nas caixas das parcelas experimentais).

Tabela 11: Taxa de aplicação do paraquat.

Taxa de Aplicação de Paraquat	L/ha
Recomendado	1,5 a 3
Considerado no Modelo	1,5

3.4.4. Coleta das Amostras de Água (Escoamento Superficial)

Para avaliar as concentrações de escoamento superficial relativo às parcelas wischmeier, foram coletadas amostras de água, proveniente desse escoamento. A coleta dessas amostras ocorreu em 07 de dezembro de 2007, conforme descrito abaixo:

- __ Preparo de recipientes de vidro a serem utilizados para as coletas;
- __ Verificação da existência de solução, proveniente de escoamento superficial, armazenado nas caixas d'água (instaladas nas parcelas wischmeier), imediatamente após período intenso de chuva e aplicação do paraquat;
- __ Coleta e armazenamento das amostras de escoamento superficial, em recipientes, mantendo-os hermeticamente fechados e resfriados;
- __ Transporte das amostras (armazenadas nos recipientes), de Bom Jardim para a EMBRAPA SOLOS e, por consequência mantendo-as refrigeradas.
- __ Análise das amostras na PUC-Rio.

A tabela 12 apresenta a lista das amostras de escoamento superficial - coletadas em 07 de dezembro de 2007- juntamente com suas respectivas identificações.

Tabela 12: Identificação das amostras relativas às parcelas wischmeier.

Parcela Wischmeier	Identificação das Amostras	
Café	1 A	1 B
Pousio	2 A	2 B
Anual	3 A	3 B
Mata	4 A	4 B

3.4.5. Análise das Amostras Coletadas

A análise das amostras coletadas foi realizada na PUC-Rio, através do método AOAC 969.0, onde as amostras foram pré-concentradas por extração em fase sólida com o uso de cartuchos C18.

O procedimento de quantificação do paraquat foi baseado na reação colorimétrica (de acordo com o Método AOAC 969.09) entre uma solução de ditionito de sódio 1% preparado em solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ com o paraquat, formando uma coloração azul.

Foi desenvolvida uma curva analítica (Fig. 36) relacionando a absorvância e a concentração de paraquat em solução preparada. A partir dessa curva analítica, foi possível determinar a concentração de paraquat na solução em cada amostra. Esse processo foi repetido mais duas vezes, totalizando três valores de concentrações de paraquat para cada amostra. Em seguida foi calculada uma média das três concentrações obtidas, juntamente com seus respectivos desvio padrão.

Parcelas com concentrações de paraquat inferiores a $1,3 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ foram consideradas ausentes de paraquat. Assim, a parcela **Anual** foi classificada como “não-detectado”.

A tabela 13 apresenta um resumo dos resultados (provenientes das amostras) dos quais, foram utilizados para a avaliação dos resultados da modelagem.

Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos

Concentração		
$\mu\text{g} \times \text{L}^{-1}$		
	Amostra A	Amostra B
Anual	Não Detectado	Não Detectado
Banana	Não Coletado	Não Coletado.
Café	$7,300 \pm 0,191$	$6,781 \pm 0,290$
Pousio	$5,312 \pm 0,177$	$5,318 \pm 0,264$
Mata	Não Detectado	Não Detectado

3.4.6. Modelagem (Modelo Utilizado)

Esta tese utiliza um modelo, representado pela equação 3.3, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, na microbacia do córrego Pito Aceso, após período intenso de chuva. A equação 3.3 foi desenvolvida a partir do modelo original REXTOX apresentado inicialmente pela OECD (2000) e utilizado posteriormente por Probst (2005) - e possui como diferencial a não utilização do parâmetro de declividade da microbacia, na etapa de modelagem. O fator de declividade foi utilizado na etapa de simulação em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), por meio do Arcgis 9.2 (ESRI)

Segue abaixo a equação do modelo proposto:

$$P_{\%} = (\text{Índ}_{\text{ESC}})(F_{\text{DEGRAD}})(F_{\text{SORÇÃO}})(F_{\text{INTERCEPT}}) \times 100 \quad [3.3]$$

$P_{\%}$ - porcentagem de paraquat presente no escoamento superficial;

Índ_{ESC} - Índice de escoamento superficial;

F_i - fator de degradação, sorção ou interceptação.

A partir da equação 3.3, é possível obter índices de paraquat presentes no escoamento superficial, considerando os fatores de degradação do pesticida, sorção do pesticida pelo solo e interceptação do pesticida pelas plantas.

3.4.6.1. Fatores e Parâmetros Necessários para o Modelo

Todos os fatores e parâmetros necessários para a equação 3.3 encontram-se na tabela 14:

Tabela 14: Parâmetros necessários para o modelo proposto.

	Parâmetros Necessários
Índice de Escoamento	P – Precipitação (mm/min).
	E – Escoamento (mm/min).
Fator de Degradação	DT₅₀ – Meia-vida (dias).
	Δt – Intervalo de tempo entre aplicação e início das chuvas (dias).
Fator de Sorção	K_d – razão entre a concentração do pesticida sorvido nas partículas do solo e a concentração do pesticida na solução aquosa do solo (Karickhoff, 1981 & Brower, 1994).
	ρ - Densidade do solo [kg/L]
	K_{OC} – Coeficiente de sorção do pesticida pelo carbono orgânico presente no solo [L/kg].
	CO – Índice de carbono orgânico presente no solo.
Fator de Interceptação	Intercept – Índice de interceptação do pesticida pela cultura (%).

3.4.6.1.1. Índice de Escoamento Superficial

O índice de escoamento superficial representa a fração da precipitação que escoou pela superfície do solo e, é representado pela equação [3.4]:

$$\text{Índ}_{\text{ESC}} = \frac{E}{P} \quad [3.4]$$

E – Escoamento Superficial (mm/min);

P – Precipitação (mm/min).

O escoamento superficial (E) da equação [3.4] é obtido em função da precipitação (P), através do polinômio característico de escoamento, desenvolvido para cada parcela Wischmeier.

Um aspecto importante está no fato do índice de escoamento (**Índ_{ESC}**) já considerar a lixiviação, isto é, a fração da precipitação que infiltra no solo, pois

conforme descrito anteriormente, os polinômios característicos foram obtidos a partir de curvas polinomiais empíricas, relativas à área de estudo.

3.4.6.1.2.Fator de Degradação

O fator de degradação (F_{DEGRAD}) indica a fração de pesticida que pode ser escoado superficialmente, após o processo de degradação do pesticida no solo. Esse fator é obtido sob cinética de 1ª ordem e demonstrado a partir da equação [3.5], utilizando as seguintes variáveis:

C – Concentração de pesticida;

k – Constante Cinética de reação;

t – Intervalo de tempo em que ocorre a degradação;

$$\frac{dC}{dt} = -C k \quad [3.5]$$

$$\frac{dC}{C} = -k dt \quad [3.6]$$

Considerando C_0 a concentração inicial do pesticida, tem-se:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -k \int_0^t dt \quad [3.7]$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k t \quad [3.8]$$

$$e^{-kt} = \frac{C}{C_0} \quad [3.9]$$

Considerando o intervalo de tempo t igual a meia-vida do pesticida no solo (DT_{50}), tem-se:

$$e^{-kDT_{50}} = \frac{0,5 C_0}{C_0} \quad [3.10]$$

$$e^{-k DT_{50}} = 0,5 \quad [3.11]$$

$$\ln 2 = -k DT_{50} \quad [3.12]$$

Assim, a constante cinética de reação é obtida conforme consta na equação [3.13]:

$$k = \frac{\ln 2}{DT_{50}} \quad [3.13]$$

Substituindo a equação [3.13] na equação [3.9], tem-se:

$$C = C_0 e^{-\left(\frac{\ln 2}{DT_{50}}\right)t} \quad [3.14]$$

Portanto o fator de degradação é obtido de acordo com a equação [3.15]:

$$F_{\text{DEGRAD}} = e^{-\left(\frac{\ln 2}{DT_{50}}\right)\Delta t} \quad [3.15]$$

Onde:

DT_{50} – Meia-vida do pesticida (dias);

Δt – Intervalo de tempo entre a aplicação e início das chuvas (dias).

3.4.6.1.3.Fator de Sorção

O fator de sorção ($F_{\text{SORÇÃO}}$) é calculado através da equação [3.15] e indica a fração do pesticida que pode ser escoado superficialmente, após o processo de sorção.

A equação [3.17] é obtida a partir da equação [3.16], considerando as seguintes variáveis:

$C_{\text{ÁGUA}}$ - Concentração do pesticida na solução aquosa presente no solo;

C_{SOLO} - Concentração do pesticida sorvido nas partículas do solo;

$$\frac{C_{\text{ÁGUA}}}{C_{\text{ÁGUA}} + C_{\text{SOLO}}} = \frac{1}{\frac{C_{\text{ÁGUA}} + C_{\text{SOLO}}}{C_{\text{ÁGUA}}}} = \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{SOLO}}}{C_{\text{ÁGUA}}}} \quad [3.16]$$

Substituindo $\frac{C_{\text{SOLO}}}{C_{\text{ÁGUA}}}$ por K_D , tem-se:

$$F_{\text{SORÇÃO}} = \frac{1}{1 + K_D} \quad [3.17]$$

K_D é obtido através da equação [3.18]:

$$K_D = \rho K_{OC} \frac{OC}{100} \quad [3.18]$$

Onde:

K_D - Razão entre a concentração do pesticida sorvido nas partículas do solo e a concentração do pesticida na solução aquosa do solo (Karickhoff, 1981 & Brower, 1994).

ρ - Densidade do solo;

K_{OC} - Coeficiente de sorção do pesticida pelo carbono orgânico presente no solo [L/kg];

OC - Teor de carbono orgânico presente no solo.

3.4.6.1.4. Fator de Interceptação

O fator de interceptação ($F_{\text{INTERCEPT}}$) representa a fração de pesticida que pode ser escoado superficialmente, após aplicação e retenção do pesticida pela folhagem das plantas. Esse fator é calculado através da equação [3.19]:

$$F_{\text{INTERCEPT}} = \frac{1 - \text{Intercept}}{100} \quad [3.19]$$

Onde:

Intercept - Índice de pesticida interceptado pelas plantas (Probst, 2005).

Considerando a forma de aplicação de paraquat sendo manual (spray manual), juntamente ao grau de crescimento elevado das plantas, foram utilizados na modelagem índices de interceptação foliar acima de 97%.

3.4.6.2. Dados Necessários ao Modelo (Relativos ao Paraquat)

Na tabela 15 encontram-se os dados de entrada, relativos ao paraquat, utilizados na modelagem:

Tabela 15: Parâmetros relativos ao paraquat.

Paraquat		Unidade		Unidade
Solubilidade Aquosa	$6,2 \times 10^5$	g/10 ³		
K _{OC}	10 ⁸	mL/g		
DT ₅₀ (no solo)	10 ³	dias		
Taxa de Aplicação	1,5	L/ha		
Concentrado de paraquat aplicado em solução	200	g/L		
Aplicação de Paraquat	300	g/ha	0,03	g/m ²

Fonte: Worthing & Hance (1991); Wauchope (1992) & Ferracini (2001).

3.4.6.3. Dados Ambientais Necessários ao Modelo

Para a modelagem (aplicada nas parcelas experimentais) foram utilizados os seguintes parâmetros: área, carbono orgânico, densidade do solo, índice de interceptação, fluxo máximo de escoamento, duração da chuva intensa e intervalo de tempo entre a aplicação e o início das chuvas.

3.4.6.3.1. Dados Relativos ao Carbono Orgânico

A tabela 16 apresenta os índices de carbono orgânico, de cada parcela wischmeier, em função da profundidade do solo, medida em cm. Os dados desta tabela foram fornecidos pela EMBRAPA SOLOS e Miranda (2008).

Tabela 16: Índice de Carbono Orgânico de cada parcela wischmeier.

Carbono Orgânico					
%					
Profundidade cm	Mata P 5	Anual P 4	Pousio P 3	Banana P 2	Café P 1
0 - 5	2,93	1,62	1,06	1,59	1,71
5 - 10	1,85	1,43	2,14	1,51	1,79
10 - 20	1,39	1,29	4,52	1,26	1,48
20 - 30	0,97	1,45	2,46	0,33	1,48

Seguem abaixo algumas considerações pertinentes à tabela 16:

- __ Nas parcelas **Mata** e perenes (**Banana** e **Café**), verifica-se decréscimo do índice de carbono orgânico, conforme se aumenta a profundidade;
- __ A parcela **Anual** apresenta decréscimo do índice de carbono orgânico, até os 20 cm de profundidade;
- __ A parcela **Pousio** apresenta grandes variações no índice de carbono orgânico, conforme se aumenta a profundidade;
- __ Como o estudo desta tese concentra-se no escoamento superficial, foram considerados para a modelagem, apenas os índices de carbono orgânico próximos à superfície - entre 0 a 5 cm de profundidade.

3.4.6.3.2. Dados Relativos à Densidade do Solo

A tabela 17 apresenta a densidade do solo, de cada parcela wischmeier, em função da profundidade do terreno, medida em cm. Os dados desta tabela foram fornecidos pela EMBRAPA SOLOS e Miranda (2008).

Tabela 17: Densidade do solo relativo às parcelas wischmier.

Profundidade cm	Densidade do Solo kg x L ⁻¹				
	Mata	Anual	Pousio	Banana	Café
0 - 5	9,21 x 10 ⁻⁷	1,15 x 10 ⁻⁶	1,13 x 10 ⁻⁶	1,03 x 10 ⁻⁶	1,41 x 10 ⁻⁶
5 - 10	1,07 x 10 ⁻⁶	1,18 x 10 ⁻⁶	1,21 x 10 ⁻⁶	1,19 x 10 ⁻⁶	1,33 x 10 ⁻⁶
10 - 20	1,18 x 10 ⁻⁶	1,20 x 10 ⁻⁶	1,32 x 10 ⁻⁶	1,33 x 10 ⁻⁶	1,35 x 10 ⁻⁶
20 - 30	1,26 x 10 ⁻⁶	1,28 x 10 ⁻⁶	1,34 x 10 ⁻⁶	1,28 x 10 ⁻⁶	1,39 x 10 ⁻⁶

— Verifica-se um aumento da densidade do solo em todas as parcelas, conforme se aumenta a profundidade do terreno;

— As parcelas Café e Mata apresentam, respectivamente, valores máximo e mínimo de densidade do solo;

— Como o estudo desta tese concentra-se no escoamento superficial, foram considerados para a modelagem, apenas densidades do solo próximas à superfície - entre 0 a 5 cm de profundidade.

3.4.6.4. Resumo dos Dados Ambientais Necessários ao Modelo

A tabela 22 apresenta os dados de todos os parâmetros, de cada parcela Wischmeier, utilizados no modelo.

Tabela 18: Dados relativos aos parâmetros de cada parcela wischmeier.

	Parcelas Wischmeier				
	Mata	Anual	Pousio	Banana	Café
Área (m ²)	88	88	88	88	88
Densidade do Solo (kg/L)	9,21 x 10 ⁻⁷	1,15 x 10 ⁻⁶	1,13 x 10 ⁻⁶	1,03 x 10 ⁻⁶	1,41 x 10 ⁻⁶
Carbono Orgânico (%)	2,93	1,62	1,06	1,59	1,71
Índice de Interceptação (%)	97	97,1	98,2	97,5	97,3
Fx. Max. Esc. (L/s)	0,15	0,73	0,41	0,53	0,13
Δt da Chuva Intensa (h)	6	6	1,4	1,5	1,2
Δt chuva após aplicação (dia)	3	3	3	3	3

Fonte: Mendes (2005) & Miranda (2008).

Seguem algumas considerações à respeito da tabela 18:

- __ A área de 88 m² corresponde à área de cada parcela wischmeier, conforme já apresentado na figura 12;
- __ A densidade do solo e o índice de carbono orgânico foram fornecidos pela EMBRAPA SOLOS e por Miranda (2008). Considerações mais detalhadas serão descritas no cap.4 (Resultados e Discussões) desta tese;
- __ O fluxo máximo de escoamento e a duração da chuva intensa, de cada parcela wischmeier, foram obtidos a partir dos estudos de escoamento realizados nas parcelas, conforme já descritos no Capítulo 3.4.;
- __ Considerando que o paraquat foi aplicado durante o período chuvoso, considerou-se como intervalo entre a aplicação do paraquat e o início das chuvas de três dias;

3.4.7. Simulação em SIG

Após a etapa de validação dos resultados, isto é, da avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial nas parcelas Wischmeier, deu-se início ao processo de simulação em meio SIG, por meio do software Arcgis 9.2 (ESRI), com o objetivo de modelar a presença de paraquat no escoamento superficial para a microbacia do córrego Pito Aceso [Fig.10].

Todas as etapas da simulação são descritas de forma resumida, conforme a seguinte ordem:

- 1) Obtenção das Curvas de Nível da microbacia do Pito do Pito Aceso, a partir da base cartográfica (fornecida pelo projeto Pronex – PUC-Rio);
- 2) Geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) para microbacia do Pito Aceso;
- 3) Reclassificação do MDE, relativo à microbacia do córrego Pito Aceso, representando a declividade através de pesos, numa escala de 1 (elevação mínima) a 10 (elevação máxima);
- 4) Geração de um mapa, de estrutura poligonal, relativo a uma fração da microbacia do Pito Aceso, onde se encontram as parcelas wischmeier;
- 5) Criação de um mapa de estrutura matricial, relativo ao mapa obtido anteriormente – utilizando a ferramenta do Arcgis 9.2 (ESRI) “*raster calculator*”.
- 6) Criação um mapa, de estrutura matricial, para cada parcela wischmeier;
- 7) Geração de um mapa, de estrutura matricial, representando a declividade de cada parcela Wischmeier;
- 8) Identificação da declividade predominante de cada parcela Wischmeier, através de uma tabela de atributos (verificando a quantidade maior de pixels);
- 9) Criação de um mapa, de estrutura matricial, para cada classe de interesse (**Perene, Anual e Mata**), a partir das declividades destacadas anteriormente;
- 10) Criação de um mapa, de estrutura matricial, para cada classe de interesse (**Anual, Perene e Mata**);
- 11) Multiplicação do mapa, de estrutura matricial (obtido anteriormente), por cada mapa, de estrutura matricial, relativo às classes de interesse (**Anual, Perene e Mata**);

3.4.8. Classificação das Concentrações de Paraquat no Escoamento Superficial em Função dos Valores Máximos Permitidos (VMP)

As concentrações de paraquat (presente no escoamento superficial), relativas a todas as culturas da microbacia foram representadas por meio de um mapa (cap.4.5.3.4), juntamente com uma classificação em função do VMP (valor máximo permitido) para o paraquat em água (10 µg/L) (Bastos, 2004).

Segue abaixo a tabela 19, contendo um resumo da proporção efetuada para classificação:

Tabela 19: Resumo da proporção de classificação.

Concentração de Paraquat no Esc.Sup. Relativa à Parcela Café (µg/L)	Valor Máximo Permitido para o Paraquat (µg/L)	Proporção Relativa ao VMP	Valor de Referência para o Pixel
6,58	10	$(10/6,58) = 1,5$	15

De acordo com a tabela 19, e considerando o mapa de elevação da microbacia reclassificado (cap.4.5.2.1), utilizou-se a mesma proporção obtida (15) para os pixels. Dessa forma, todo pixel com valor acima abaixo de 15, foi considerado abaixo do VMP de paraquat água e todo pixel com valor acima de 15 foi considerado acima do VMP de paraquat em água.

4 Resultados e Discussão

Conforme o fluxograma representativo da estrutura da modelagem (cap.3.4), seguem os resultados relativos à entrada e saída de dados.

4.1. Escoamento Superficial Relativo às Parcelas Experimentais

As tabelas 24 a 28, e as ilustrações 3 a 7, representam os resultados das análises de escoamento superficial, relativas às parcelas experimentais. Esses resultados foram obtidos a partir dos procedimentos metodológicos descritos no cap.3.

4.1.1. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Café

A tabela 20 apresenta os dados analisados de precipitação e escoamento superficial pertinentes ao período de verão de 2006-2007, utilizados para obtenção de um perfil de escoamento superficial relativo à parcela de cultura café.

Tabela 20: Dados de Precipitação e Escoamento Superficial - Parcela Café

Café 2006 - 2007	Mês	Dia	Prec. mm/min	Esc. mm/min	Duração min	Coef.Esc. %	
	jan		8	0,27	0,0001	30	0,04
			9	0,46	0,0009	15	0,19
			13	1,27	0,0432	15	3,4
			16	0,38	0,0002	45	0,04
			25	1,61	0,09	15	5,59
			27	0,47	0,0018	15	0,37
	fev		18	1,41	0,05	30	3,55
			20	1,17	0,04	15	3,42
			Média	0,88	0,03	22,5	2,08
		Máximo	1,61	0,09	45	5,59	

A ilustração 3 apresenta uma curva polinomial, que representa o perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura café.

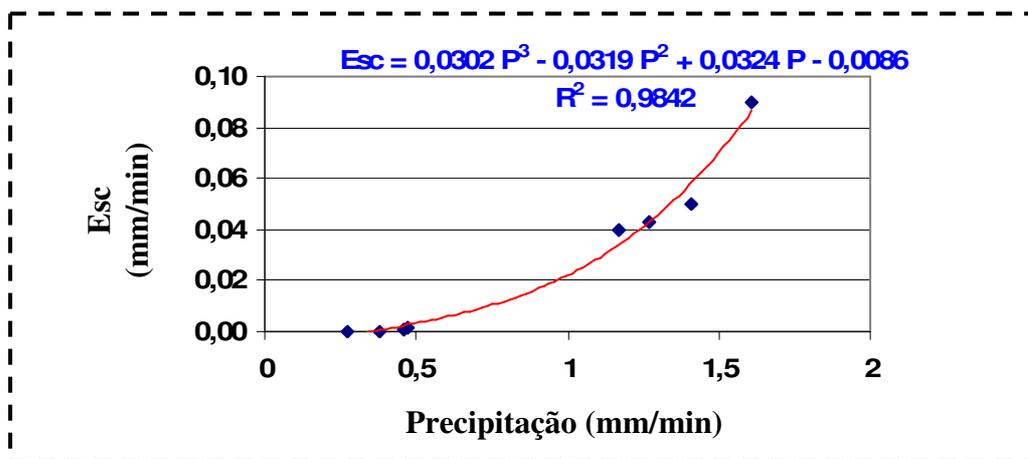


Ilustração 3: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental de Cultura Café.

Seguem abaixo algumas observações com respeito à tabela 20 e ilustração 18:

__ A parcela **Café** apresentou coeficiente de escoamento bem reduzido (máximo de 5,59%), o que indica pouco escoamento superficial ou grande capacidade de retenção de água, durante os períodos chuvosos;

__ Escoamento máximo de 0,09 mm/min, ocorrido durante um período curto de tempo (15 min);

__ Curva polinomial crescente;

__ Para a modelagem, foi considerada o fluxo máximo de escoamento igual à intensidade máxima de escoamento superficial (0,09 mm/min);

4.1.2. Escoamento Superficial Relativo à Parcela de Cultura Banana

A tabela 21 apresenta os dados analisados de precipitação e escoamento superficial pertinentes ao período de verão de 2006-2007, utilizados para obtenção de um perfil de escoamento superficial relativo à parcela de cultura banana.

Tabela 21: Dados de Precipitação e Escoamento Superficial - Parcela Banana

	Mês	Dia	Prec. mm/min	Esc. mm/min	Duração min	Coef.Esc %
	Banana 2006 - 2007	jan	4	0,42	0,022	30
8			0,27	0,0047	15	1,73
9			0,46	0,0259	15	5,67
13			1,27	0,36	45	28,35
16			0,38	0,021	15	5,47
27			0,47	0,0322	15	6,8
fev		9	0,02	0,003	15	18,14
		19	0,03	0,0046	30	13,45
		27	0,02	0,0019	15	11,32
		Média		0,37	0,05	21,67
	Máximo		1,27	0,36	45	28,35

A ilustração 4 apresenta uma curva polinomial, que representa o perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura banana.

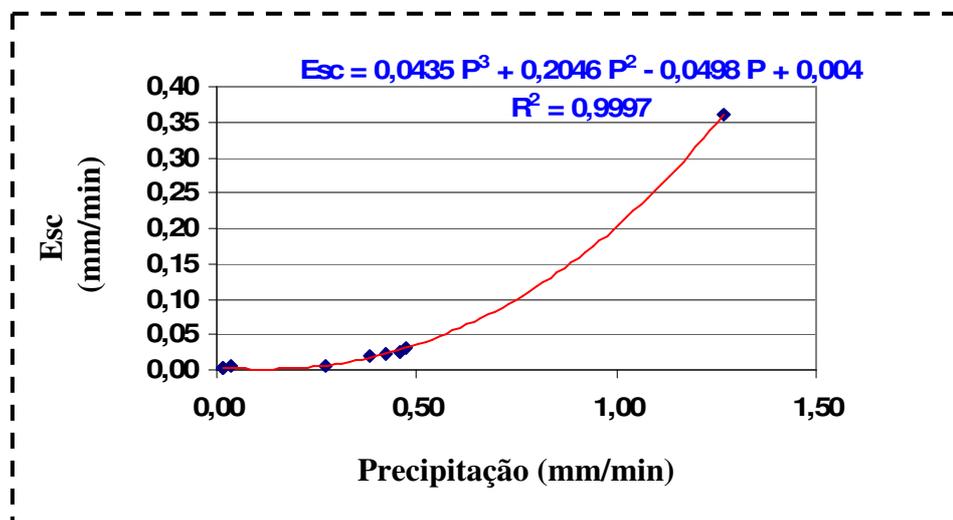


Ilustração 4: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental de Cultura Banana

Seguem abaixo algumas observações com respeito à tabela 21 e ilustração 4:

__ Comparando as duas culturas perenes, **Café** e **Banana**, a parcela **Banana** apresentou coeficiente de escoamento superficial maior (média de 10,68%), o que indica maior tendência à ocorrência de escoamento superficial, durante os períodos chuvosos;

__ Curva polinomial crescente;

__ Para a modelagem, foi considerada o fluxo máximo de escoamento igual à intensidade máxima de escoamento superficial (0,36 mm/min);

4.1.3. Escoamento Superficial Relativo à Parcela Pousio

A tabela 22 apresenta os dados analisados de precipitação e escoamento superficial pertinentes ao período de verão de 2006-2007, utilizados para obtenção de um perfil de escoamento superficial relativo à parcela pousio.

Tabela 22: Dados de Precipitação e Escoamento Superficial - Parcela Pousio

	Mês	Dia	Prec. mm/mi n	Esc. mm/min	Duração min	Coef.Esc. %
Pousio 2006 - 2007	jan	4	0,42	0,01	15	2,3
		8	0,27	0,004	30	1,5
		9	0,46	0,019	15	4,06
		16	0,38	0,006	45	1,44
		27	0,47	0,029	15	6,07
	fev	9	0,02	0,002	15	9,77
		19	0,03	0,003	15	8,49
		27	0,02	0,001	15	6,86
	mar	20	1,17	0,28	15	23,93
		Média	0,36	0,04	20	7,16
		Máximo	1,17	0,28	45	23,93

A ilustração 5 apresenta uma curva polinomial, que representa o perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura banana.

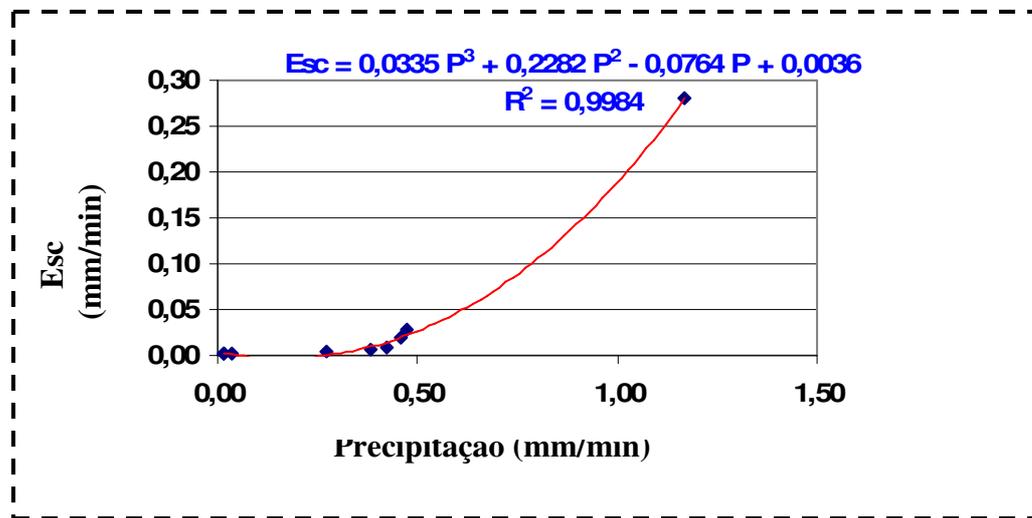


Ilustração 5: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental Pousio

Seguem abaixo algumas observações com respeito à tabela 22 e à respectiva curva polinomial:

- ___ Escoamento superficial máximo na parcela **Pousio** de 0,28 mm/min, ocorrido durante um período curto de tempo (15 min);
- ___ Curva polinomial crescente;
- ___ Para a modelagem, foi considerada o fluxo máximo de escoamento igual à intensidade máxima de escoamento superficial (0,28 mm/min);

4.1.4. Escoamento Superficial Relativo à Parcela Mata

A tabela 23 apresenta os dados analisados de precipitação e escoamento superficial pertinentes ao período de verão de 2005-2006, utilizados para obtenção de um perfil de escoamento superficial relativo à parcela mata.

Tabela 23: Dados de Precipitação, Escoamento e Duração da Chuva Intensa – Relativos à parcela wischmeier **Mata** (verão 2005 – 2006).

Mata 2005 - 2006	Mês	Dia	Prec. mm/min	Esc. mm/min	Duração min	Coef.Esc. %
	jan	2	0,23	0,001	30	0,42
		27	1,53	0,0054	45	0,36
	fev	11	1,25	0,0054	30	0,43
		24	1,07	0,0026	15	0,24
		27	1,8	0,0119	15	0,66
		28	0,33	0,0021	15	0,64
	mar	10	0,2	0,0005	15	0,25
		14	0,1	0,0002	15	0,17
		16	1,25	0,0036	45	0,29
	Média	0,86	0,004	25	0,38	
	Máximo	1,8	0,01	45	0,66	

A ilustração 6 apresenta uma curva polinomial, que representa o perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura mata.

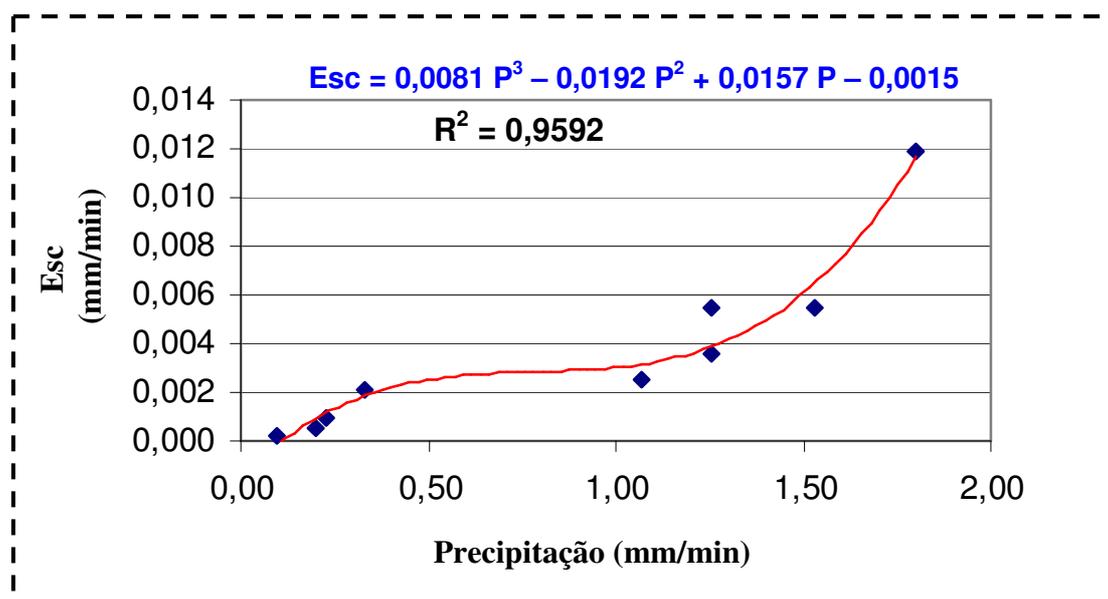


Ilustração 6: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental Mata

__ Curva polinomial apresenta-se de forma crescente a partir, aproximadamente, de 1 mm/min de precipitação. Assim, considerou-se na modelagem valores de precipitação para a parcela **Mata** acima de 1 mm/min.

__ Parcela **Mata** apresenta coeficiente de escoamento superficial bem reduzido (média de 0,38%), indicando tendência de retenção de grande quantidade de água pela mata, durante a chuva intensa;

__ Escoamento superficial máximo na parcela **Mata** de 0,01 mm/min, ocorrido durante um período relativamente curto de tempo (30 min);

__ Para a modelagem, foi considerada o fluxo máximo de escoamento igual à intensidade máxima de escoamento superficial (0,01 mm/min);

4.1.5. Escoamento Superficial Relativo à Parcela Anual

A tabela 24 apresenta os dados analisados de precipitação e escoamento superficial pertinentes ao período de verão de 2006-2007, utilizados para obtenção de um perfil de escoamento superficial relativo à parcela anual.

Tabela 24: Dados de Precipitação, Escoamento e Duração da Chuva Intensa – Relativos à parcela wischmeier **Anual** (verão 2006 – 2007).

	Mês	Dia	Prec. mm/min	Esc. mm/min	Duração min	Coef.Esc. %
	Anual 2006 - 2007	jan	4	0,42	0,018	15
8			0,27	0,001	30	0,34
9			0,46	0,021	15	4,58
13			1,27	0,208	15	16,37
16			0,38	0,005	45	1,37
25			1,61	0,5	15	31,08
27			0,47	0,068	15	14,45
fev		18	1,41	0,277	30	19,71
mar		20	1,17	0,124	15	10,63
		Média	0,83	0,14	21,67	11,41
	Máximo	1,61	0,5	45	31,08	

A ilustração 7 apresenta uma curva polinomial, que representa o perfil de escoamento superficial relativo à parcela experimental de cultura anual.

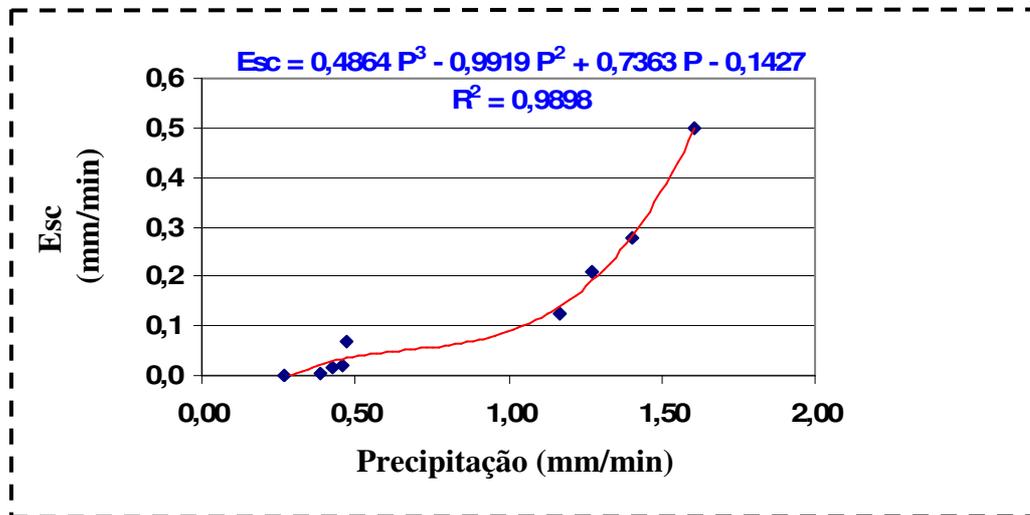


Ilustração 7: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental Anual.

Seguem abaixo algumas observações com respeito à tabela 24 e à respectiva curva polinomial:

___ Parcela **Anual** apresenta coeficiente de escoamento superficial média e máximo bem acentuado, respectivamente, com 11,41% e 31,08%;

___ Curva polinomial crescente;

___ Para a modelagem, foi considerada o fluxo máximo de escoamento igual à intensidade máxima de escoamento superficial (0,5 mm/min);

4.1.6. Perfil de Precipitação (Escoamento Superficial)

O gráfico da ilustração 8 representa o perfil de precipitação considerado para entrada de dados do modelo. A unidade mm/min corresponde à intensidade máxima de precipitação, necessária para ocorrer escoamento superficial em cada parcela wischmeier, durante o período de chuva intensa. As informações para desenvolvimento desse perfil de precipitação foram obtidas, a partir de estudo de campo realizado nas parcelas, durante as estações de verão de 2006/7 e 2007/8 e, dos respectivos resultados desse estudo, descritos na metodologia deste trabalho.

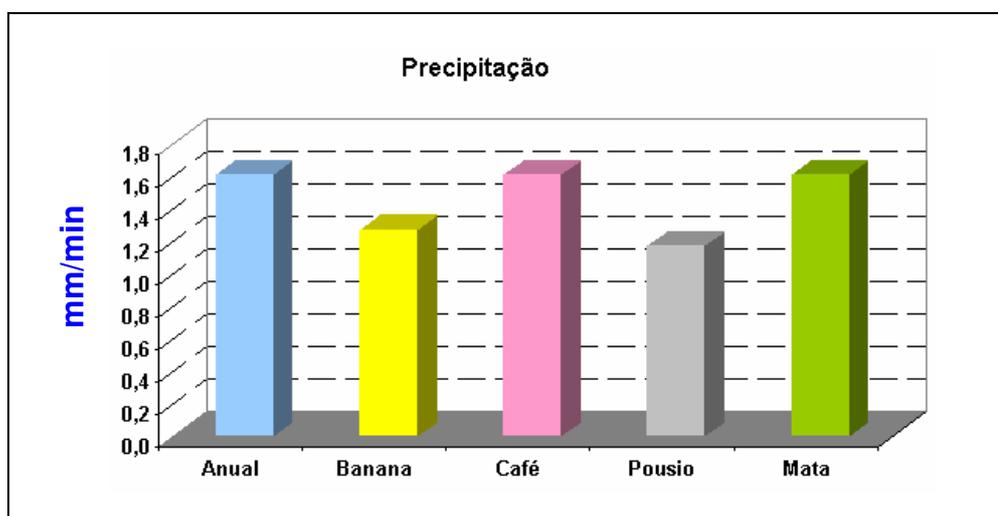


Ilustração 8: Perfil de precipitação de cada parcela wischmeier

A partir do perfil de precipitação, representado pelo gráfico da ilustração 8, é possível destacar as seguintes informações:

- ___ A maior intensidade de chuva (1,61 mm/min), necessária para escoamento superficial, ocorreu igualmente nas parcelas **Anual**, **Café** e **Mata**;
- ___ A menor intensidade de chuva (1,17 mm/min), necessária para escoamento superficial, ocorreu na parcela **Pousio**;
- ___ A parcela **Banana** aparece com uma intensidade de chuva intermediária (1,27 mm/min);

4.1.7. Fluxo Máximo de Escoamento Superficial

O gráfico da ilustração 9 representa o fluxo máximo de escoamento superficial, medido em mm/min, considerado em cada parcela wischmeier e, corresponde a intensidade máxima de escoamento superficial, ocorrido durante a chuva intensa. Os dados deste gráfico foram obtidos a partir do estudo de campo realizado nas parcelas (descrito no cap.3 - Materiais e Métodos).

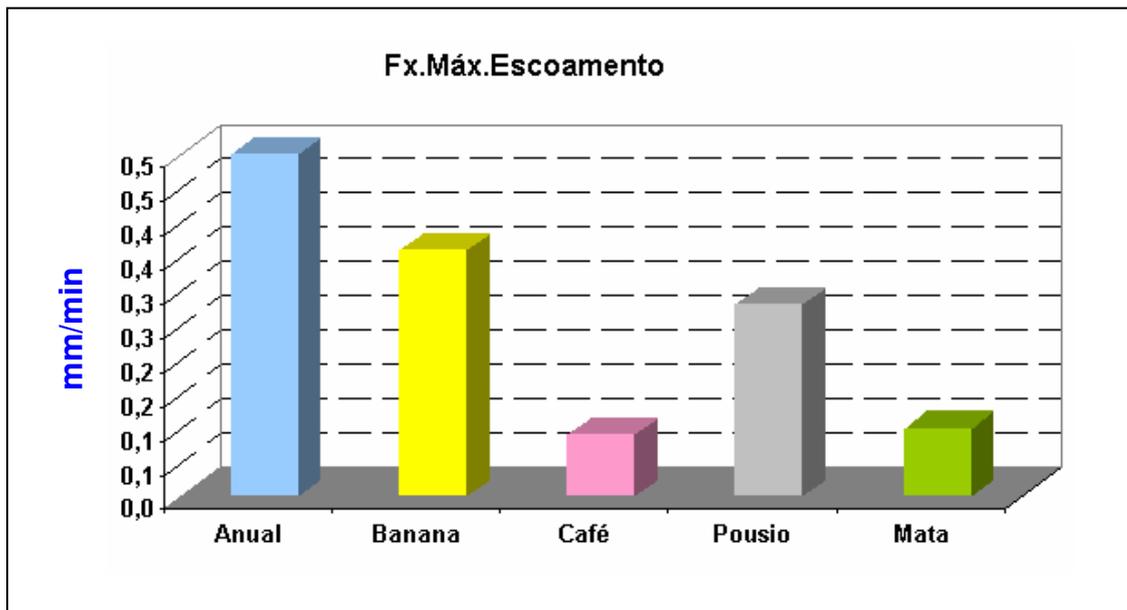


Ilustração 9: Fluxo máximo de escoamento superficial de cada parcela wischmeier.

Seguem abaixo algumas considerações pertinentes ao gráfico da ilustração 9:

— As parcelas **Anual** e **Café** apresentaram, respectivamente, valores máximo (0,5 mm/min) e mínimo (0,09 mm/min) de fluxo máximo de escoamento superficial.

— Observa-se perfil semelhante, quando se comparam os gráficos, respectivamente, das figuras 33 e 34.

4.1.8. Duração da Chuva Intensa (Escoamento Superficial)

A ilustração 10 apresenta o gráfico correspondente à duração da chuva intensa, medida em horas, necessária para a ocorrência do escoamento superficial em cada parcela wischmeier.

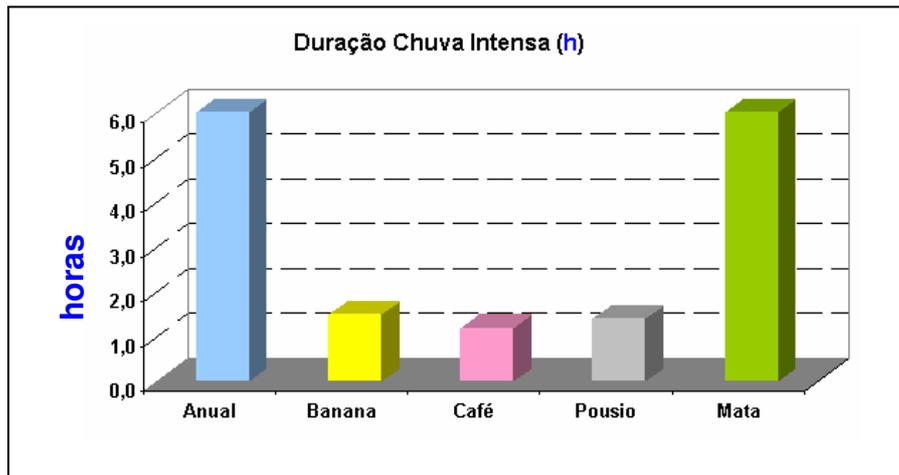


Ilustração 10: Duração da chuva intensa de cada parcela wischmeier.

Seguem abaixo algumas considerações e interpretações sobre os dados pertinentes à ilustração 10:

— Verificou-se grande influência da duração da chuva intensa nos resultados obtidos através da modelagem, tais quais serão descritos mais adiante;

— As parcelas **Anual** e **Mata** se destacaram por apresentarem valores máximos de duração de chuva intensa (6h). Isso pode ser explicado devido a pouca umidade do solo nas respectivas parcelas, o que conseqüentemente retardou o escoamento superficial;

— A parcela **Café** apresentou menor valor para duração de chuva intensa (1,2h). Em culturas bastante enraizadas, como é o caso do café, o escoamento superficial ocorre devido a fortes chuvas e, estas perduram em intervalos de tempo menores;

— A parcela **Pousio** também apresentou valor bem reduzido de duração de chuva intensa (1,4h), quando comparado com as demais parcelas;

4.2. Interceptação Foliar do Paraquat

O gráfico da ilustração 11 representa a interceptação foliar de cada parcela wischmeier. Conforme descrito anteriormente, a interceptação foliar é representada em porcentagem e indica à fração de paraquat que, após aplicação, permanece retido na folhagem das culturas.

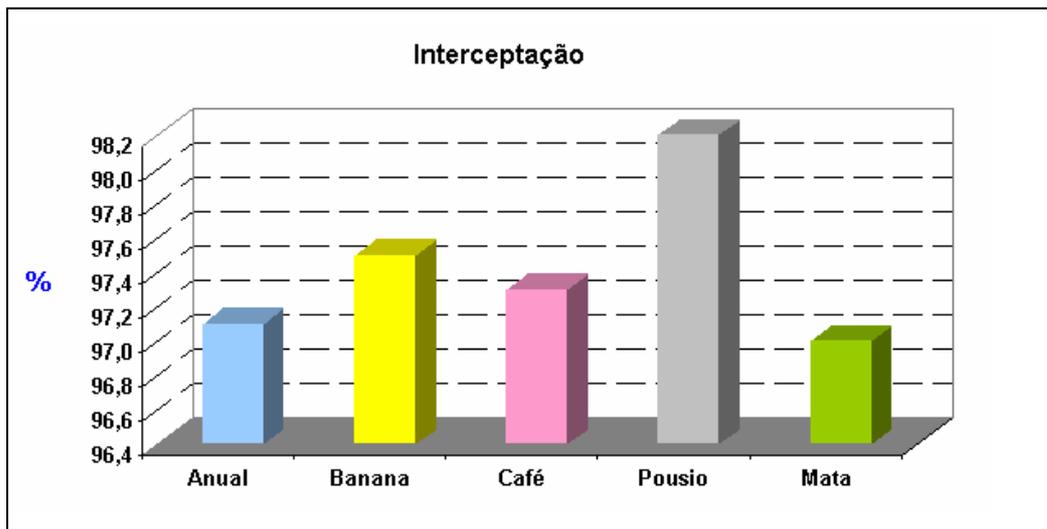


Ilustração 11: Interceptação foliar para cada parcela Wischmeier.

Seguem abaixo as considerações necessárias para obtenção da interceptação foliar de cada parcela, juntamente com as conclusões obtidas:

— Devido à aplicação do paraquat ter sido feita por meio de pulverizadores manuais e, considerando todas as culturas estando em etapas finais de crescimento, considerou-se um valor mínimo de interceptação foliar bem acentuado. Assim, foi considerado para a modelagem, um valor mínimo de 97% para a parcela **Mata** e máximo de 98,2% para a parcela **Pousio**;

— Foi diagnosticado grande sensibilidade na interceptação foliar das parcelas. Pequenos intervalos nos índices de interceptação causaram grandes variações nos resultados da modelagem;

— Os índices de interceptação foliar considerados e apresentados na fig.31 foram verificados a partir da avaliação dos resultados da modelagem, descrita no cap.4.3.

4.3. Representação dos Dados de Entrada e dos Resultados

A tabela 25 corresponde à planilha “Cálculos”, onde foram desenvolvidos todos os cálculos pertinentes ao modelo, para cada uma das parcelas Wischmeier.

Tabela 25: Planilha de cálculos do modelo

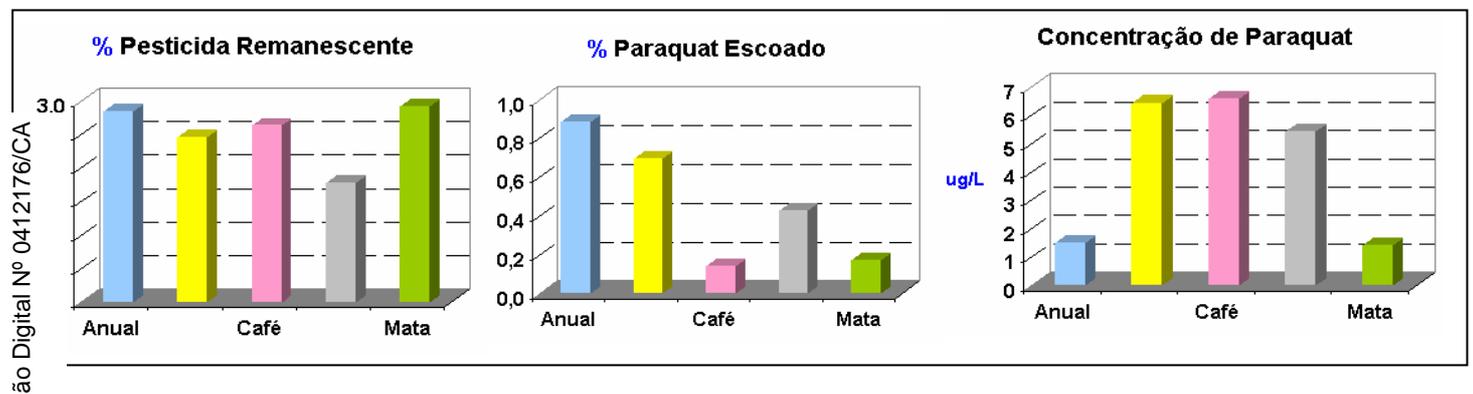
	Precip mm/min	Esc mm/min	Esc.Super %	Paraq %	Fx.Max.Esc mm/min	Chuva Intensa h	Conc. $\mu\text{g} \times \text{L}^{-1}$
Anual	1,61	0,502	31,2	0,89	0,5	6	1,48
Banana	1,27	0,36	28,3	0,7	0,36	1,5	6,44
Café	1,61	0,087	5,4	0,14	0,09	1,2	6,58
Pousio	1,17	0,28	23,9	0,43	0,28	1,4	5,42
Mata	1,8	0,093	5,8	0,17	0,1	6	1,33

A última coluna da planilha “Cálculos”, já apresenta resultados da modelagem. Esses resultados são representados por “Conc.” e correspondem à concentração de paraquat no escoamento superficial, medida em $\mu\text{g} \times \text{L}^{-1}$.

4.4. Resultados da Modelagem

Os resultados da modelagem foram descritos por meio da planilha “Resultados” (ilustração 12), onde é possível identificar valores numéricos e gráficos comparativos entre as parcelas Wischmeier **Anual**, **Banana**, **Café**, **Pousio** e **Mata**.

	Anual	Banana	Café	Pousio	Mata	
	4	2	1	3	5	
Coefficiente Kd	0,019	0,016	0,024	0,012	0,027	
Pesticida Remanescente (%)	2,8	2,5	2,6	1,8	2,9	
% Paraquat Presente (Esc.)	0,89	0,70	0,14	0,43	0,17	
Concentração	$1,48 \times 10^{-6}$	$6,44 \times 10^{-6}$	$6,58 \times 10^{-6}$	$5,42 \times 10^{-6}$	$1,40 \times 10^{-6}$	g/L
Concentração	1,48	6,44	6,58	5,42	1,33	ug/L
Concentração Amostras	não detectado	não coletado	6,49- 7,491	5,054-5,582	não detectado	ug/L



ação 12: Resultados da modelagem

Analisando os resultados da ilustração 12, é possível concluir que:

- ___ A parcela **Café** apresenta menor índice e maior concentração de paraquat em seu escoamento superficial;
- ___ A parcela **Anual** apresenta maior índice e menor concentração de paraquat em seu escoamento superficial;
- ___ Os índices de paraquat nas parcelas variam de forma decrescente (**Anual** > **Banana** > **Pousio** > **Mata**), exceto na parcela **Café**, que apresenta menor índice de paraquat;
- ___ As parcelas **Anual** e **Mata** apresentam menor concentração de paraquat em seu escoamento, enquanto que as parcelas banana, café e pousio apresentam maior concentração de paraquat nos seus respectivos escoamentos superficiais;

— As parcelas **Banana** e **Café** apresentam concentrações de paraquat bem semelhantes (6,44 ug/L de paraquat na banana e 6,58 ug/L de paraquat na parcela café).

4.4.1. Avaliação dos Resultados da Modelagem

Para avaliar os resultados da modelagem, as concentrações de paraquat no escoamento superficial, obtidas: através da modelagem e por análise laboratorial foram comparadas e representadas na tabela 26:

Tabela 26: Resultados obtidos por meio da Modelagem e pela análise laboratorial das amostras.

	Concentração $\mu\text{g} \times \text{L}^{-1}$	
	Resultados Modelagem	Análise Laboratório
Anual	1,48	Não Detectado
Banana	6,44	Não Coletado
Café	6,58	6,49 - 7,491
Pousio	5,42	5,054 - 5,582
Mata	1,33	Não Detectado

A partir da tabela 26, foi possível destacar as seguintes considerações:

— Na coluna “Resultados Modelagem”, as parcelas **Café** e **Pousio** apresentaram concentrações de paraquat, no escoamento superficial, dentro do intervalo limitado pela análise laboratorial.

— Apesar da amostra de escoamento superficial, relativa à parcela **Banana**, não ter sido coletada, os resultados da modelagem apresentaram presença de paraquat na parcela Banana, com um valor de 6,44 ug x L⁻¹.

4.5. Simulação em Ambiente SIG

Após avaliação dos resultados da modelagem, deu-se início a etapa de simulação com SIG (Sistema de Informação Geográfica), através do Arcgis 9.2, conforme metodologia descrita detalhadamente no Capítulo 3.6.7.

4.5.1. Modelo Digital de Elevação da Microbacia

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da microbacia foi gerado a partir das curvas de nível (Fig.18) da microbacia de estudo, através da ferramenta de geoprocessamento do Arcgis 9.2, que transformou a imagem inicial isolinha para uma imagem vetorial TIN (figura 19):

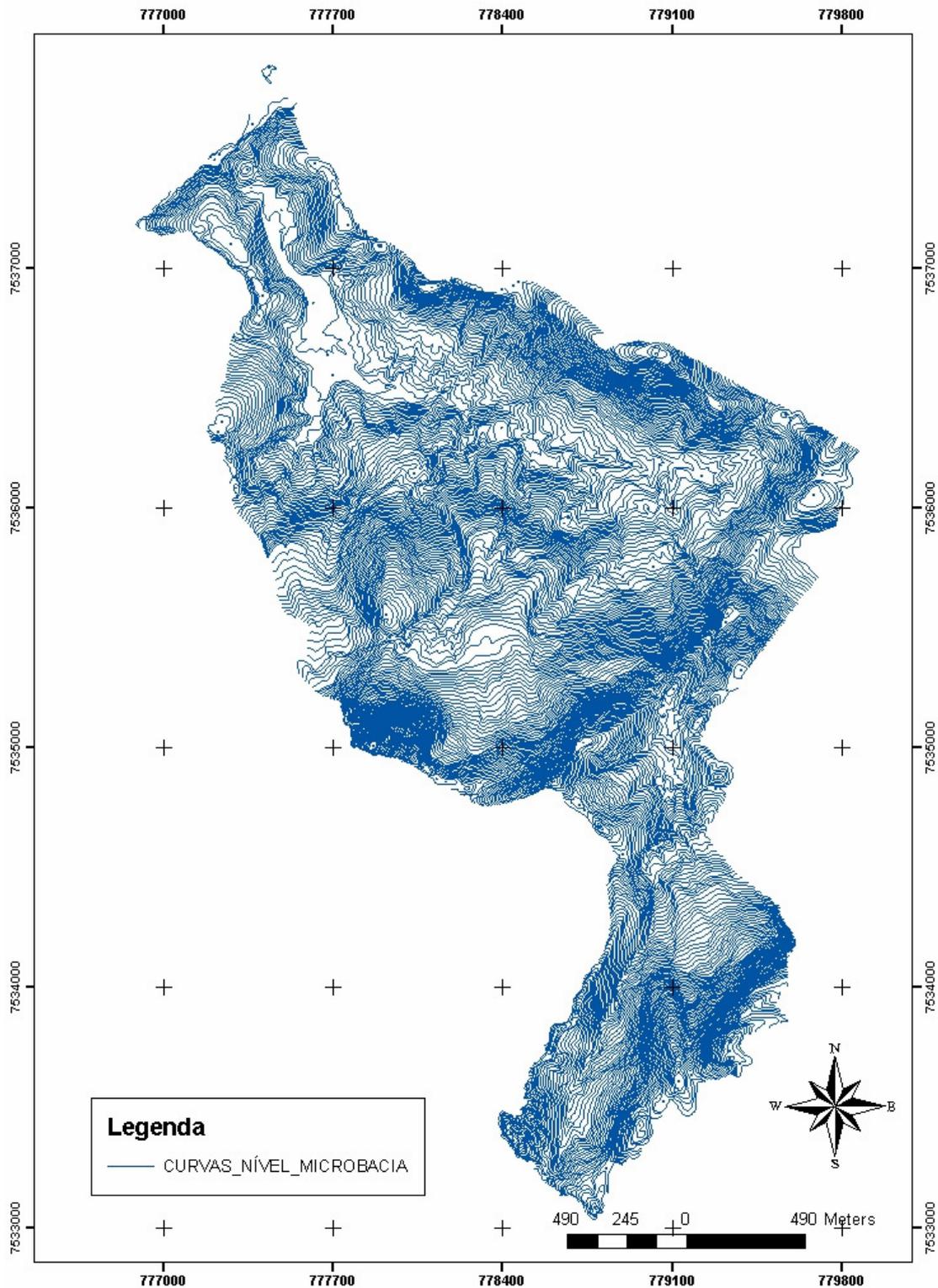


Figura 18: Curvas de nível da microbacia de estudo.

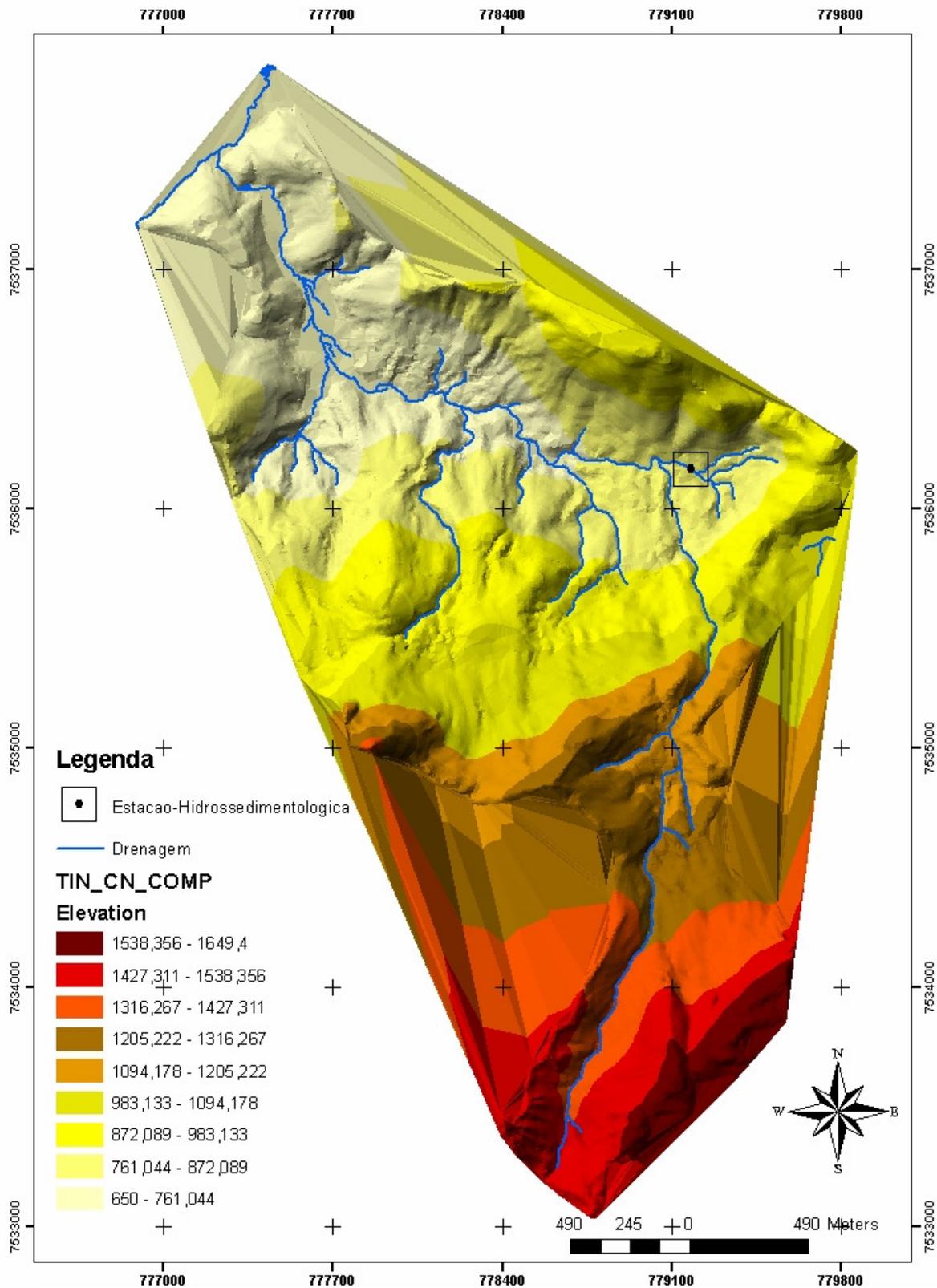


Figura 19: Modelo Digital de Elevação relativo à microbacia de estudo.

A partir do MDE da figura 19, criou-se um novo MDE, reclassificado por ordem crescente de declividade, numa escala de 1 (declividade mínima) a 10 (declividade máxima).

4.5.2. Mapa de Estrutura Matricial das Parcelas Experimentais

A figura 20 corresponde a um mapa de estrutura matricial da cabeceira da microbacia, contendo as parcelas experimentais Wischmeier. A partir desse mapa, foram gerados outros mapas reclassificados, respectivamente para cada parcela Wischmeier (café, banana, pousio, mata, anual).

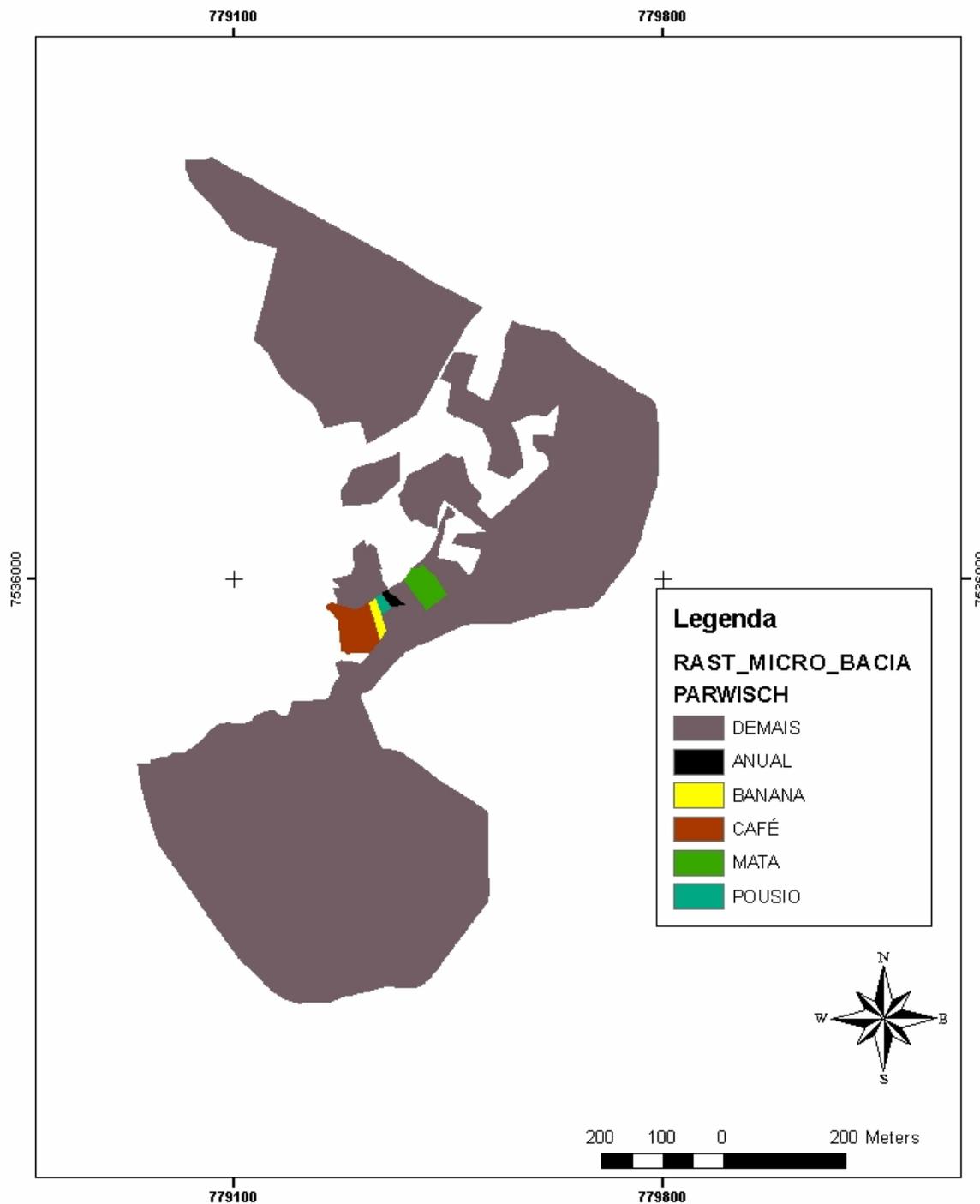


Figura 20: Mapa de estrutura matricial relativo à cabeceira da microbacia de estudo.

4.5.2.1. Reclassificação dos Mapas das Parcelas Experimentais em Função da Declividade

A partir do mapa de estrutura matricial, foram gerados outros mapas reclassificados, respectivamente para cada parcela Wischmeier (café, banana, pousio, mata, anual).

4.5.2.1.1. Mapa Reclassificado da Parcela Café

A figura 21 corresponde a um mapa de estrutura matricial, relativo à parcela café, reclassificado por peso 0 (demais áreas) e peso 1 (parcela café).

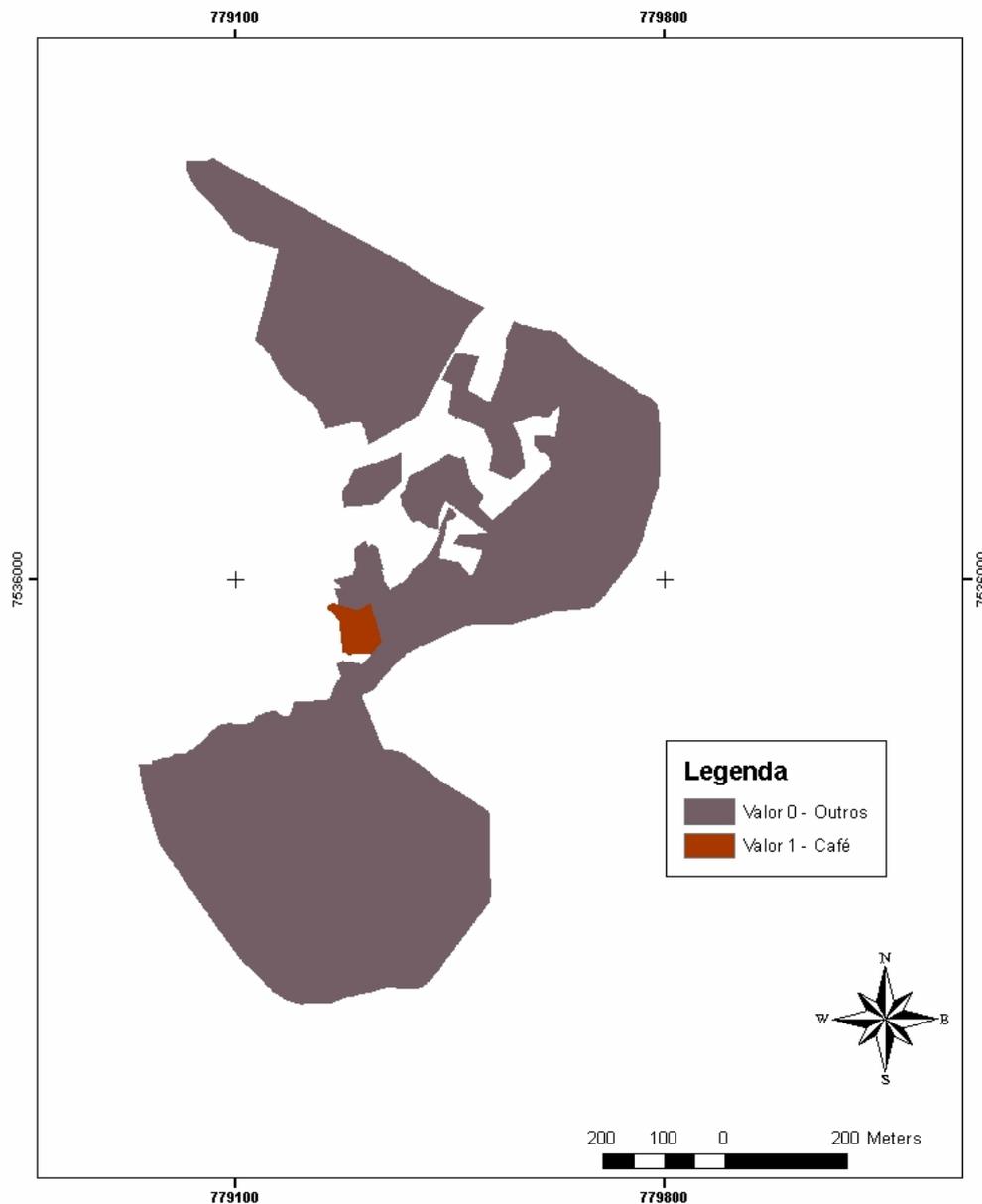


Figura 21: Mapa de estrutura matricial relativo à parcela café.

4.5.2.1.2. Mapa Reclassificado da Parcela Banana

A figura 22 corresponde a um mapa de estrutura matricial, relativo à parcela banana, reclassificado por peso 0 (demais áreas) e peso 1 (parcela banana).

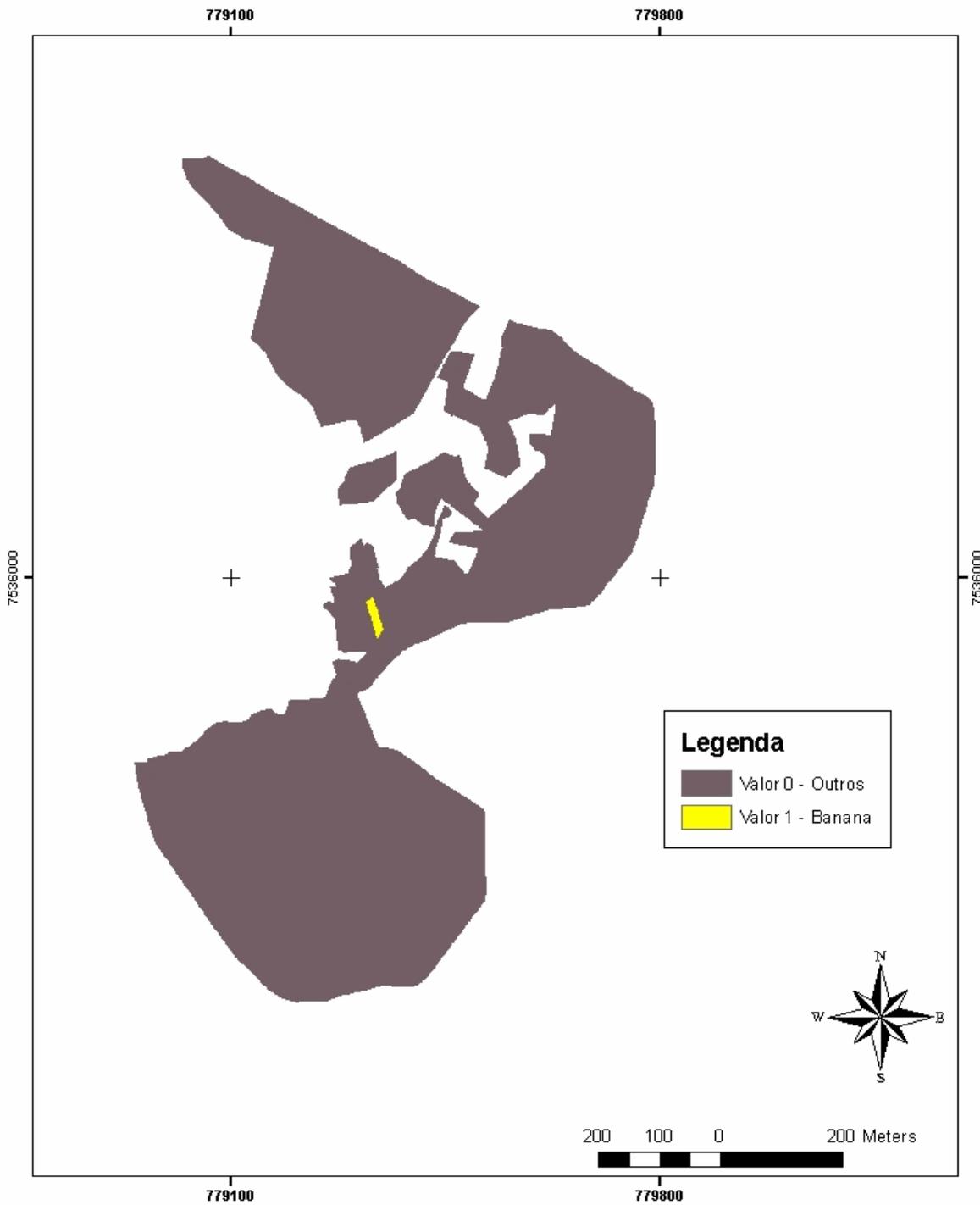


Figura 22: Mapa de estrutura matricial relativo à parcela banana.

4.5.2.1.3. Mapa Reclassificado da Parcela Pousio

A figura 23 corresponde a um mapa de estrutura matricial, relativo à parcela pousio, reclassificado por peso 0 (demais áreas) e peso 1 (parcela pousio).

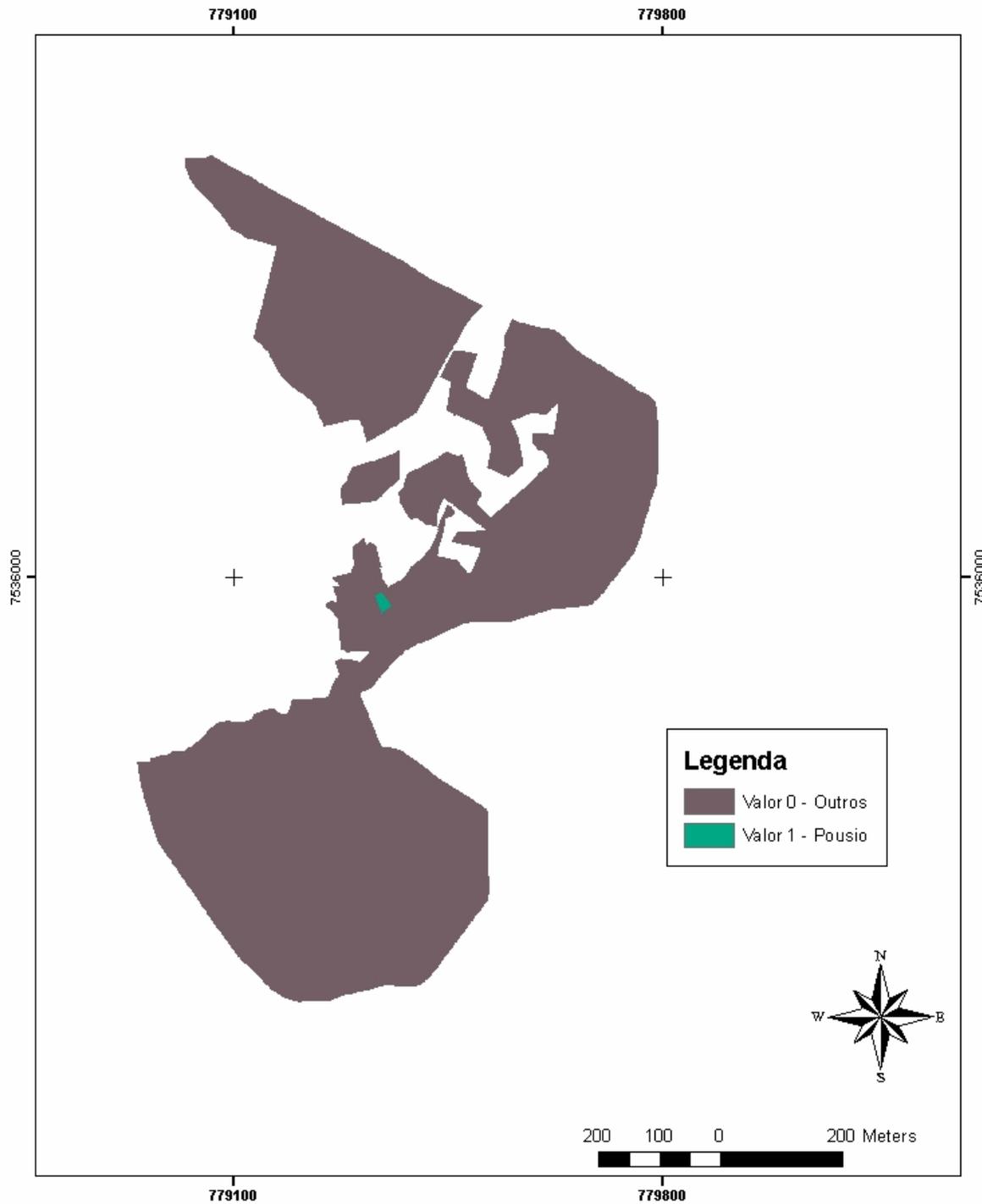


Figura 23: Perfil de Escoamento Superficial Relativo à Parcela Experimental pousio.

4.5.2.1.4. Mapa Reclassificado da Parcela Mata

A figura 24 corresponde a um mapa de estrutura matricial, relativo à parcela mata, reclassificado por peso 0 (demais áreas) e peso 1 (parcela mata).

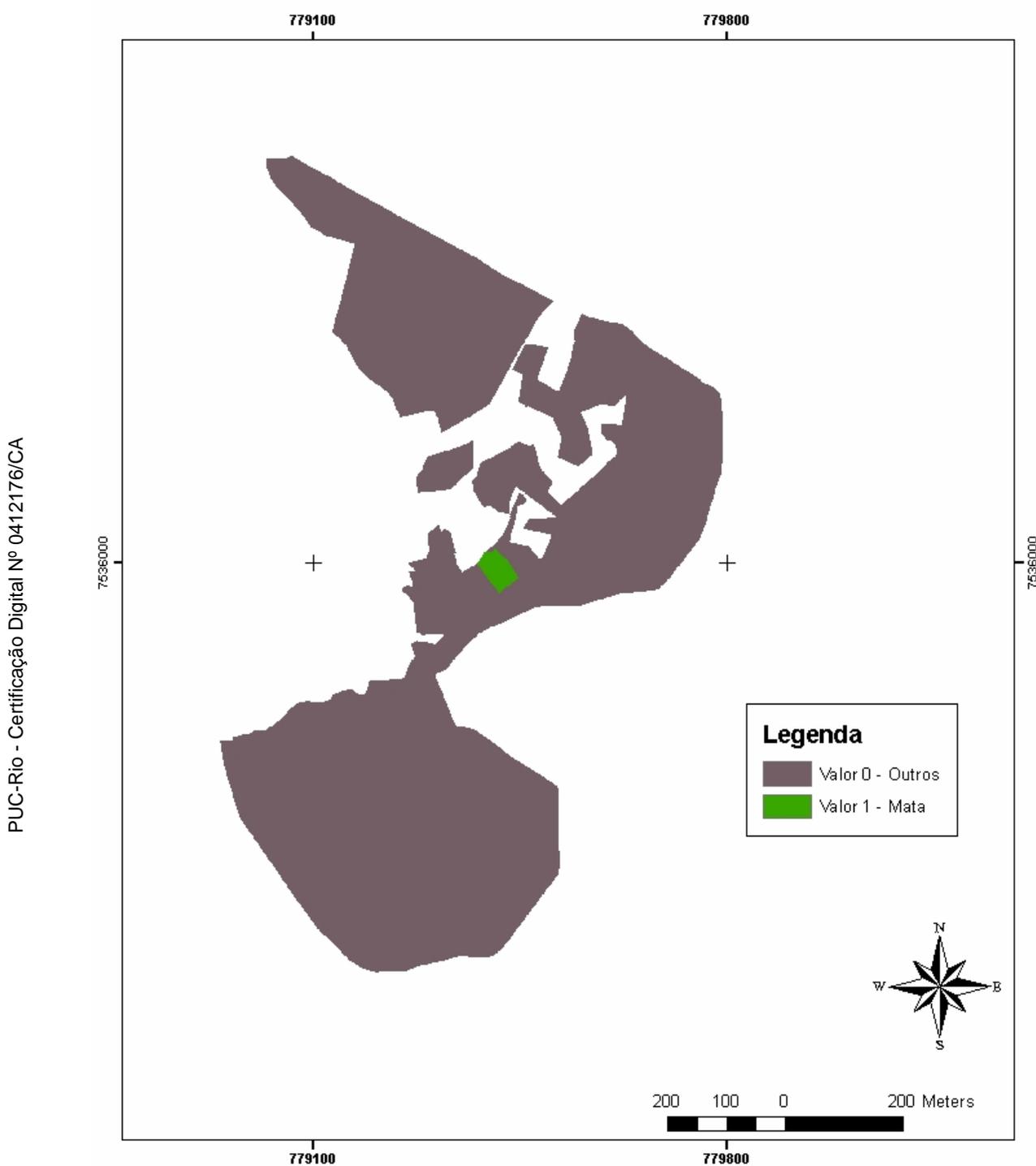


Figura 24: Mapa de estrutura matricial relativo à parcela mata.

4.5.2.2. Declividade Predominante das Parcelas Experimentais

A simulação da presença de paraquat na bacia hidrográfica foi desenvolvida em função da declividade predominante em cada parcela. A partir do conhecimento desta declividade predominante, cada parcela wischmeier foi associada a uma determinada declividade, com o objetivo de gerar um modelo digital de elevação (MDE) reclassificado de acordo com a declividade predominante em cada parcela wischmeier.

Assim, a determinação da declividade predominante de cada parcela Wischmeier foi obtida por meio da multiplicação da imagem matricial da respectiva parcela, pela imagem matricial da declividade da bacia hidrográfica (MDE reclassificado).

4.5.2.2.1. Declividade Predominante da Parcela Café

As ilustrações 13 e 14 destacam a declividade predominante (peso 3 –1559 pixels) da parcela Wischmeier café.

(a)		x	(b)		=	(c)	
Outros	0		MDE	Declividade		Café (Microbacia)	Declividade
Café	1		Peso	Peso	Peso	Pixels	
			1	1	0	454 386	
			2	2	2	961	
			3	3	3	1 559	
			4	4	4	1 362	
			5	5	5	868	
			6	6	6	82	
			7	7	7	42	
			8	8			
			9	9			
			10	10			

Ilustração 13: Processamento relativo à parcela café.

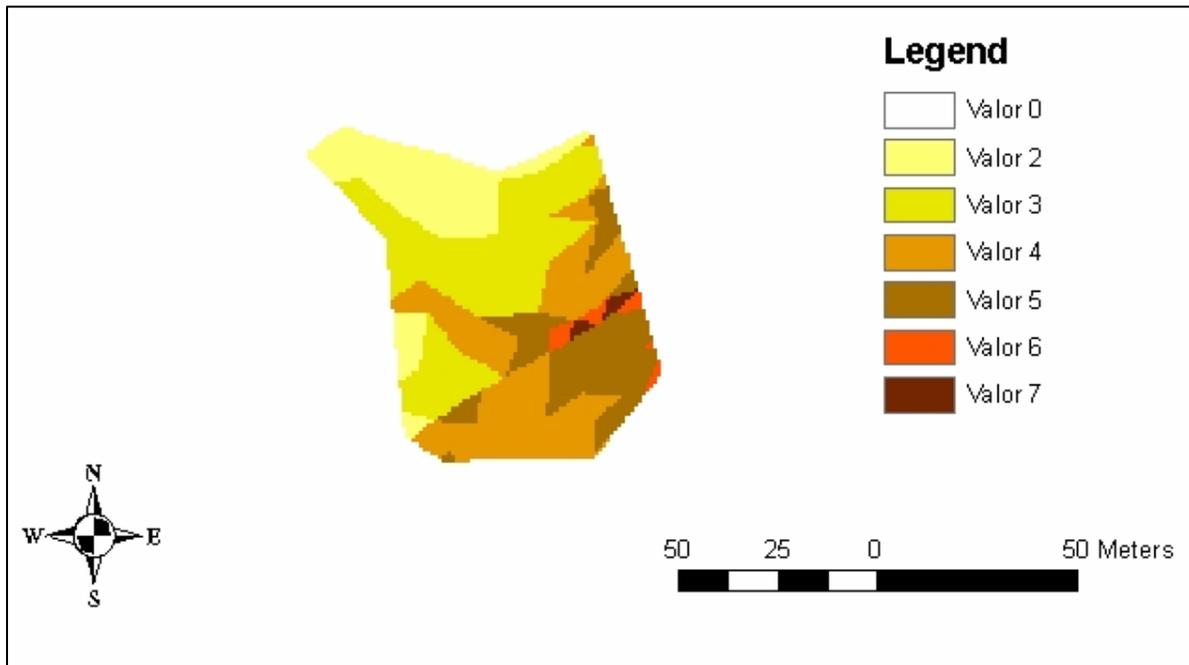


Ilustração 14: Resultado do processamento relativo à parcela café.

4.5.2.2.2. Declividade Predominante da Parcela Banana

As figuras 15 e 16 destacam a declividade predominante (peso 6 – 306 pixels) da parcela Wischmeier banana.

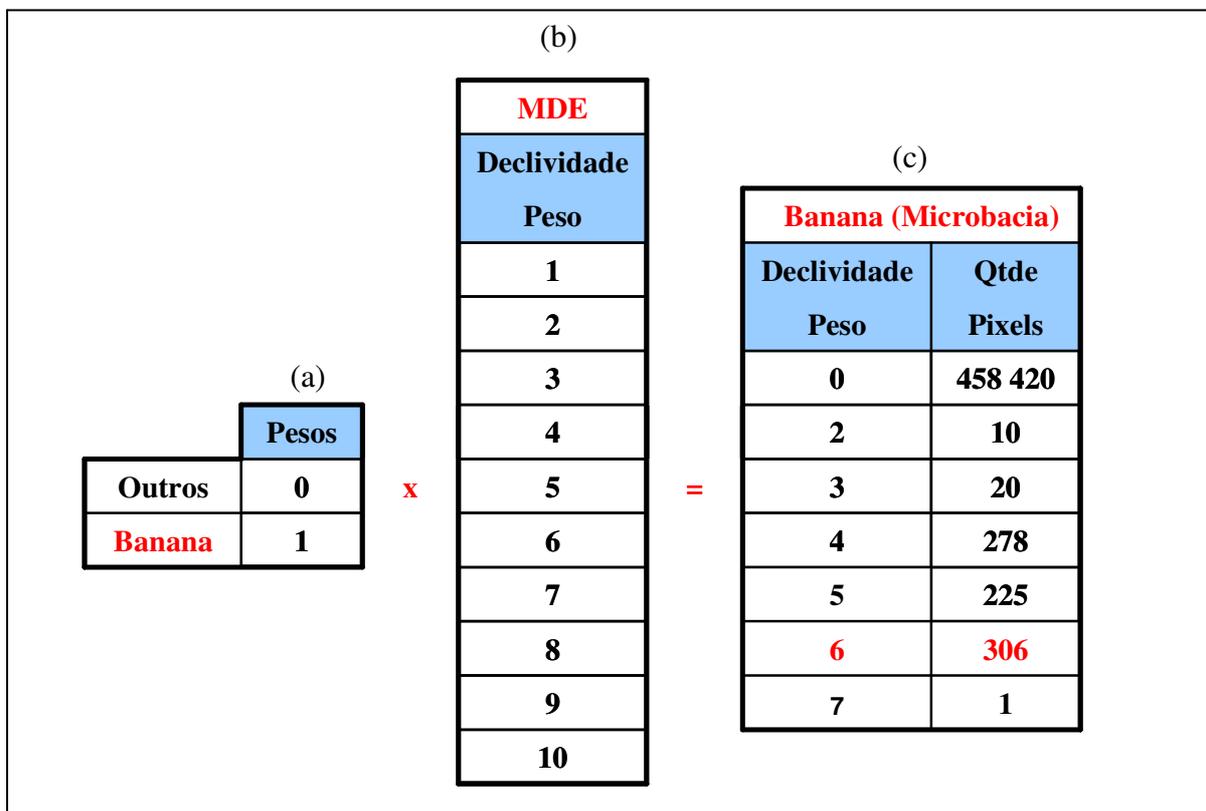


Ilustração 15: Processamento relativo à parcela banana.

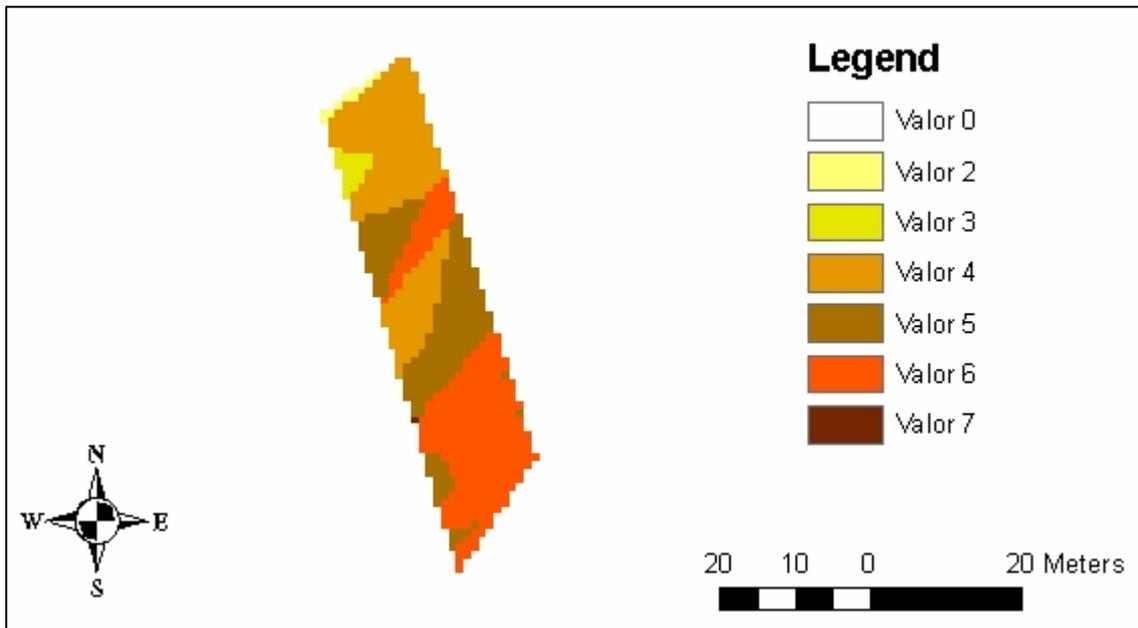


Ilustração 16: Resultado do processamento relativo à parcela banana.

4.5.2.2.3. Declividade Predominante da Parcela Pousio

As figuras 17 e 18 destacam a declividade predominante (peso 4 – 282 pixels) da parcela Wischmeier pousio.

(a)		(b)		(c)	
	Pesos	MDE		Pousio (Microbacia)	
Outros	0	Declividade		Declividade	Qtde
Pousio	1	Peso		Peso	Pixels
		1		0	458 805
		2		4	282
		3		5	94
		4		6	79
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			

Ilustração 17: Processamento relativo à parcela pousio.

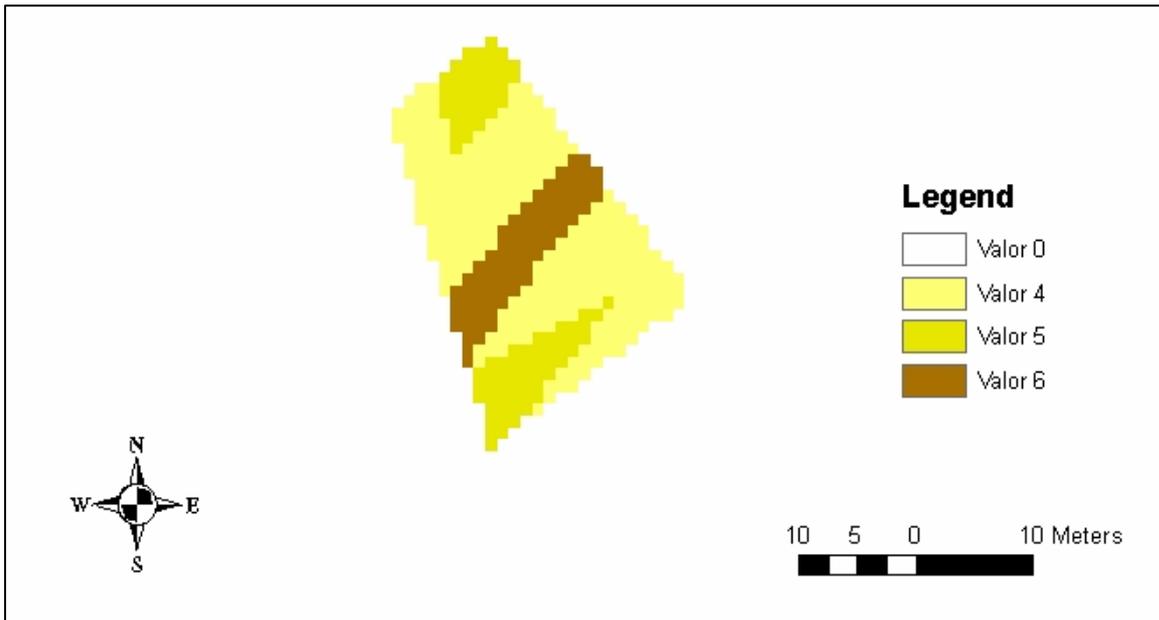


Ilustração 18: Resultado do processamento relativo à parcela Pousio.

4.5.2.2.4. Declividade Predominante da Parcela Mata

As figuras 19 e 20 destacam a declividade predominante (peso 5 – 1734 pixels) da parcela Wischmeier mata.

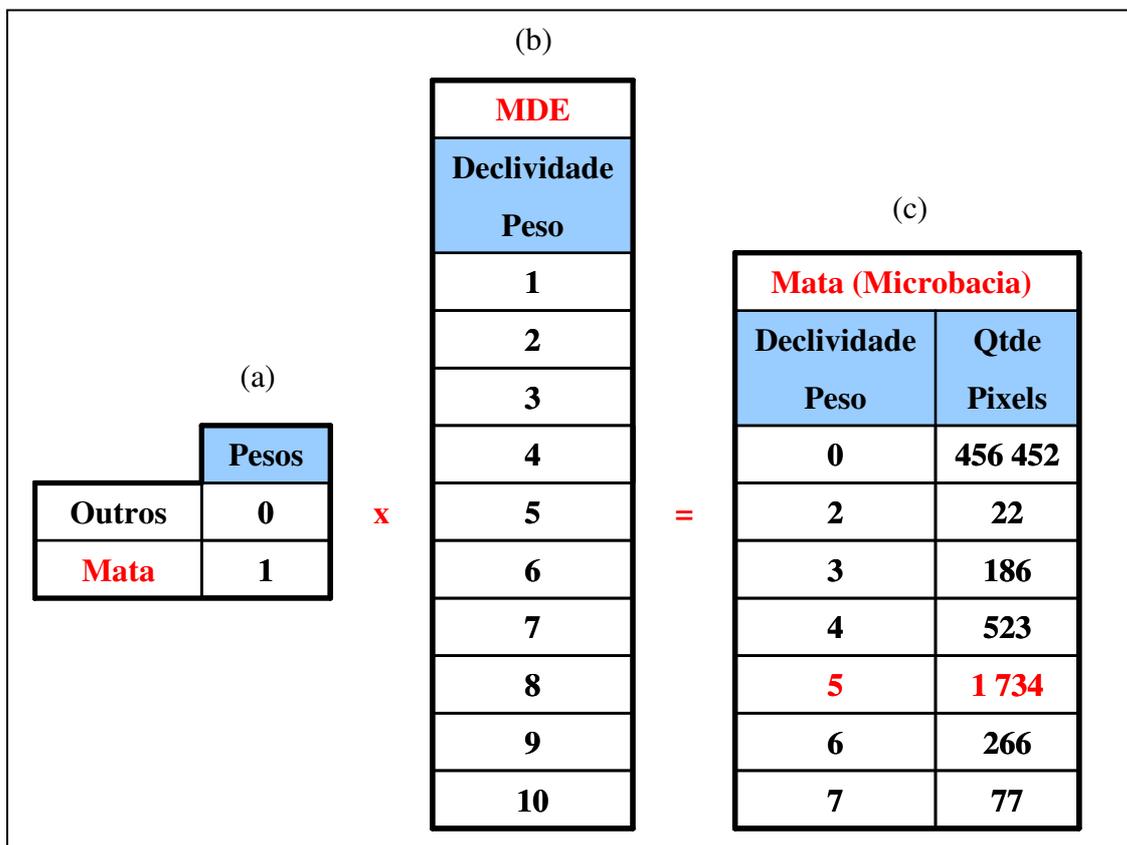


Ilustração 19: Processamento relativo à parcela mata.

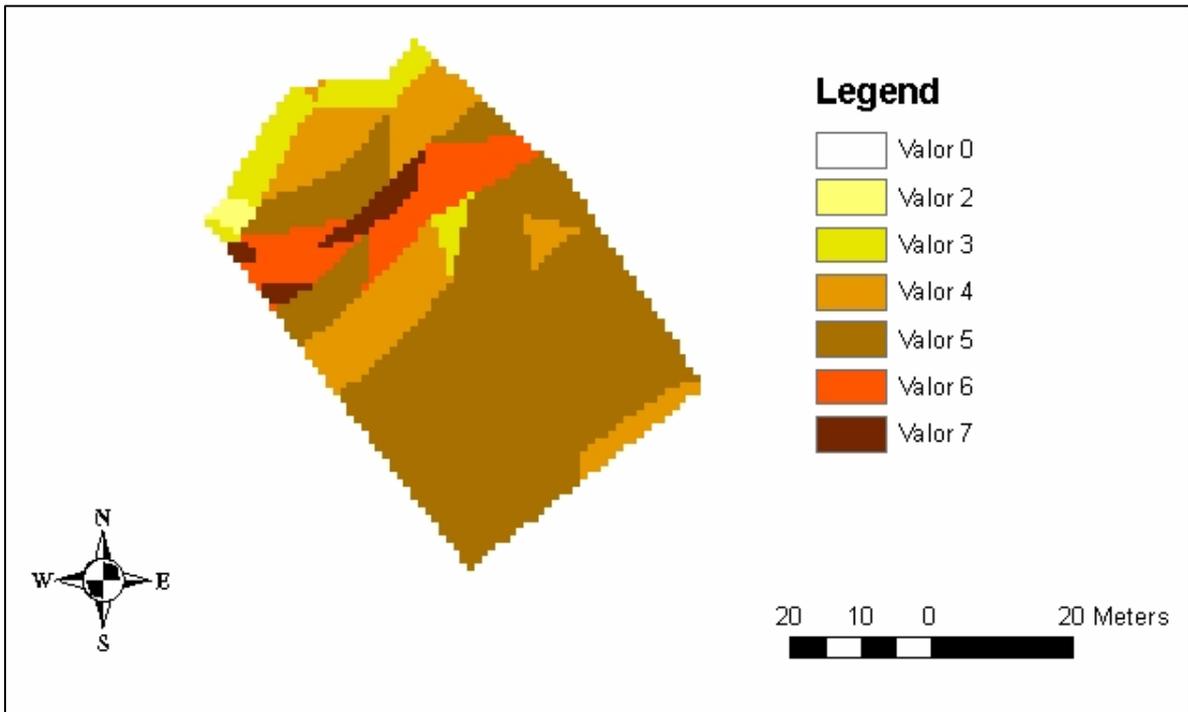


Ilustração 20: Resultado do processamento relativo à parcela Mata.

4.5.2.2.5. Declividade Predominante da Parcela Anual

As figuras 21 e 22 destacam a declividade predominante (peso 4 – 282 pixels) da parcela Wischmeier anual.

		MDE			
		Declividade			
		Peso			
		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			

		Declividade	
		Peso	
Outros	0		
Anual	1		

x

=

		Anual (Microbacia)	
		Declividade	
		Peso	
		Qtde Pixels	
	0		458 789
	4		348
	5		80
	6		43

Ilustração 21: Processamento relativo à parcela anual.

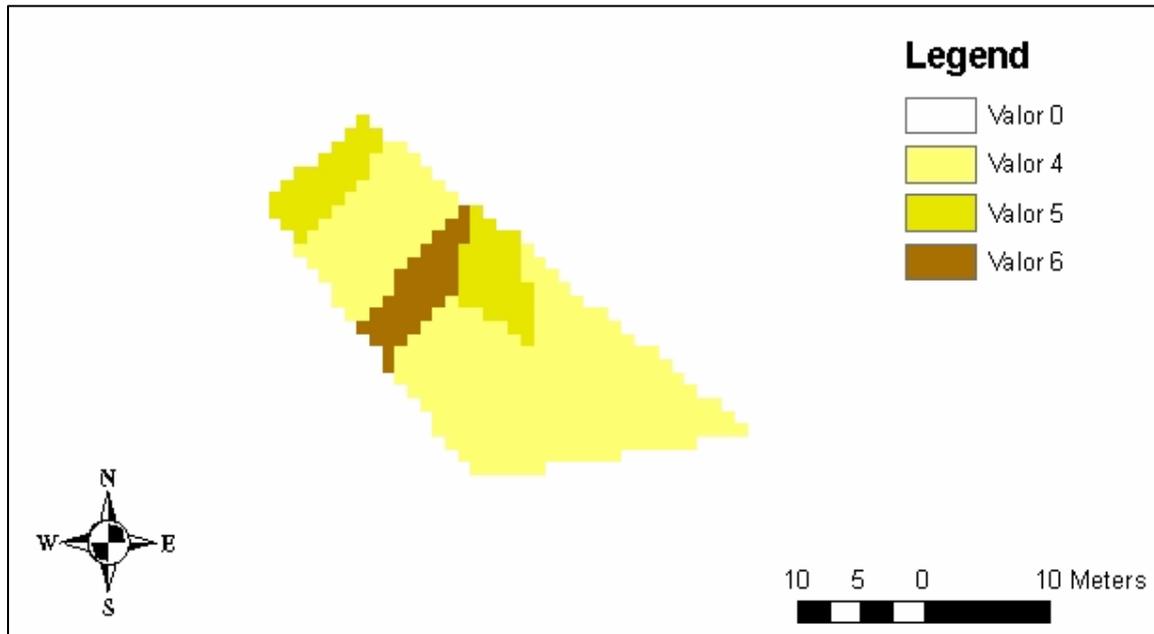


Ilustração 22: Processamento relativo à parcela anual.

4.5.2.2.6. Valores dos Pixels Relativos às Parcelas Experimentais (Utilizados Como Referência)

A tabela 27 apresenta um resumo dos pesos finais, de cada cultura considerada na simulação em SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Tabela 27: Resumo dos pesos finais utilizados.

MDE					
Cultura Perene		Cultura Anual		Mata Inicial	
MDE (Peso)	Reclassificado (Peso)	MDE (Peso)	Reclassificado (Peso)	MDE (Peso)	Reclassificado (Peso)
1	0,3	1	0,2	1	0,2
2	0,7	2	0,4	2	0,4
3	1	3	0,6	3	0,6
4	1,3	4	0,8	4	0,8
5	1,7	5	1	5	1
6	2	6	1,2	6	1,2
7	2,3	7	1,4	7	1,4
8	2,7	8	1,6	8	1,6
9	3	9	1,8	9	1,8
10	3,3	10	2	10	2

4.5.3. Resultados da Simulação

A partir dos resultados nas parcelas Wischmeier, obtidos por meio da modelagem, avaliados e apresentados na tabela 31, foi desenvolvida uma

simulação com SIG, através do Arcgis 9.2, com o objetivo de avaliar a presença de paraquat em toda a microbacia hidrográfica de estudo. Esta simulação foi realizada, considerando a declividade da microbacia, como fator de ponderação.

Os resultados foram obtidos por meio da multiplicação do mapa de declividade (reclassificado), pelo mapa de estrutura matricial (também reclassificado), de cada cultura de interesse: **Cultura Anual**, **Cultura Perene** e **Mata Inicial**.

4.5.3.1. Simulação Relativa às Culturas Anuais

A ilustração 23 apresenta os cálculos que foram efetuados, para obtenção do mapa, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em culturas anuais.

(a)		x	(b)		=	(c)	
Outros	0		MDE			Cultura Anual	
Anual	1	Declividade	Peso	Declividade	Qtde	Pixels	
		0,2	0,2	0	4.565.936		
		0,4	0,4	0,3	107.413		
		0,6	0,6	0,5	120.111		
		0,8	0,8	0,8	93.490		
		1	1	1	58.436		
		1,2	1,2	1,3	31.179		
		1,4	1,4	1,5	8.784		
		1,6	1,6	1,8	1.098		
		1,8	1,8	2	66		
		2	2	2,3	3		

Ilustração 23: Cálculos necessários para obtenção dos resultados, relativos às culturas anuais.

Seguem algumas considerações pertinentes à ilustração 23:

__ Foi realizada uma multiplicação entre o mapa de estrutura matricial, e o modelo digital de elevação - ambos reclassificados para culturas anuais;

__ A tabela c apresenta os pesos finais obtidos, relativos às culturas anuais;

__ Os pesos apresentados nas tabelas, representam os índices de ponderação que devem ser considerados nos resultados finais. Por exemplo, pixels com pesos 1,8, estão localizados com declividade 80% acima da declividade da parcela wischmeier Anual;

__ Encontram-se destacados (em negrito) os pixels com pesos maiores ou iguais a 1 (100%);

A partir dos resultados obtidos com a etapa de modelagem, juntamente com a posterior avaliação desses resultados através da análise laboratorial, obteve-se a simulação desses resultados para outras regiões da bacia hidrográfica, considerando a declividade como fator de influência.

A figura 32 apresenta o mapa final, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em **Culturas Anuais**. Toda região representada pela cor verde (peso 0) corresponde às demais culturas e, as regiões do mapa representadas pelas cores amarela e vermelha correspondem às culturas anuais, ponderadas em função da declividade. Dessa forma, a concentração de paraquat, presente no escoamento superficial da parcela wischmeier **Anual**, foi ponderada de acordo com os pesos indicados no mapa.

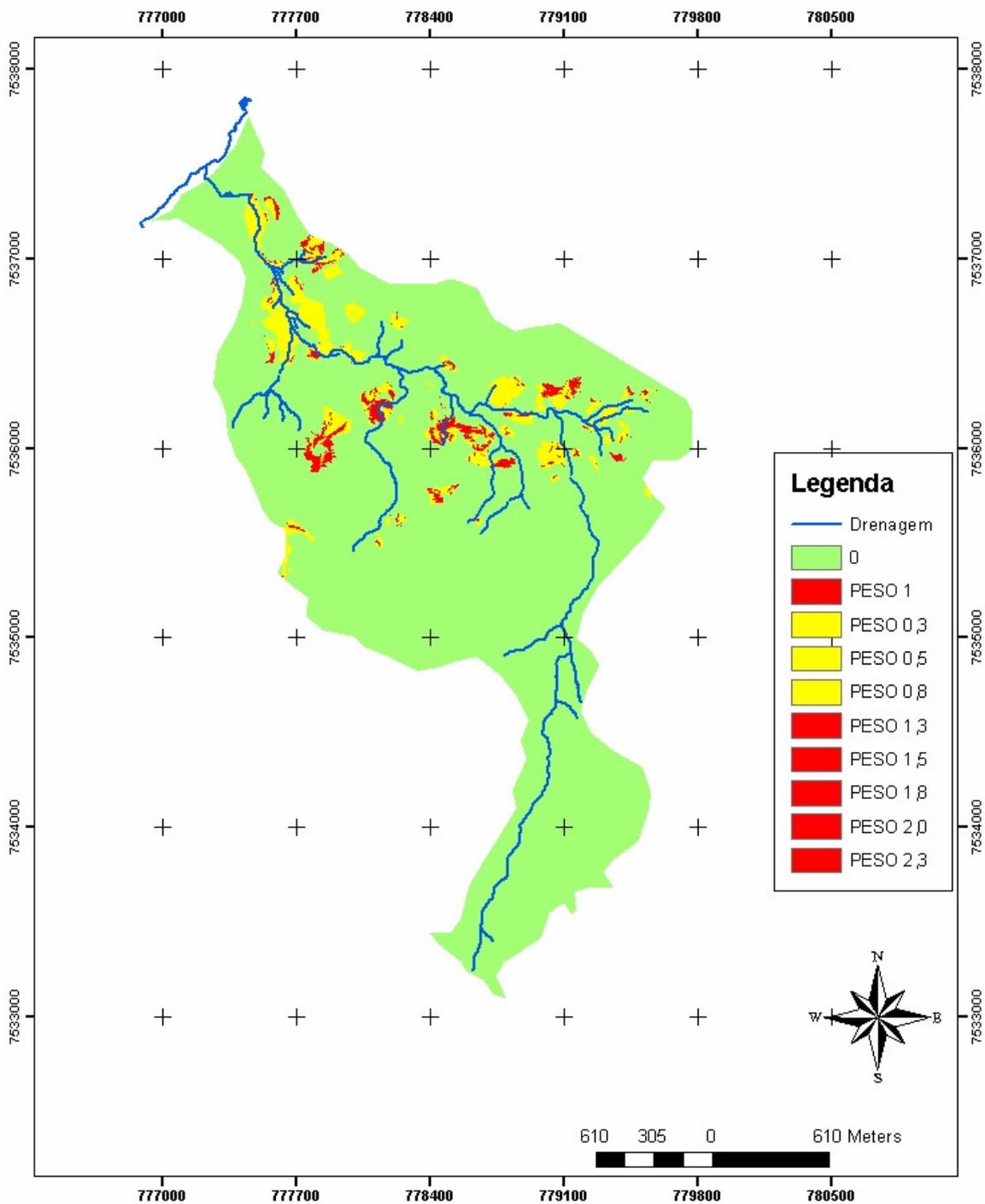


Figura 26: Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em Culturas Anuais.

No mapa da figura 26, os pixels amarelos representam culturas anuais, com declividades que variam entre 30% e 80%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Anual**. Já os pixels vermelhos representam culturas anuais, com declividades acima ou igual a 100%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Anual**.

A ilustração 24 apresenta dois gráficos, que foram construídos com o objetivo de auxiliar a interpretação do mapa da figura 32. Esses gráficos representam a distribuição dos pixels por peso (presentes no mapa), somente nas culturas anuais.

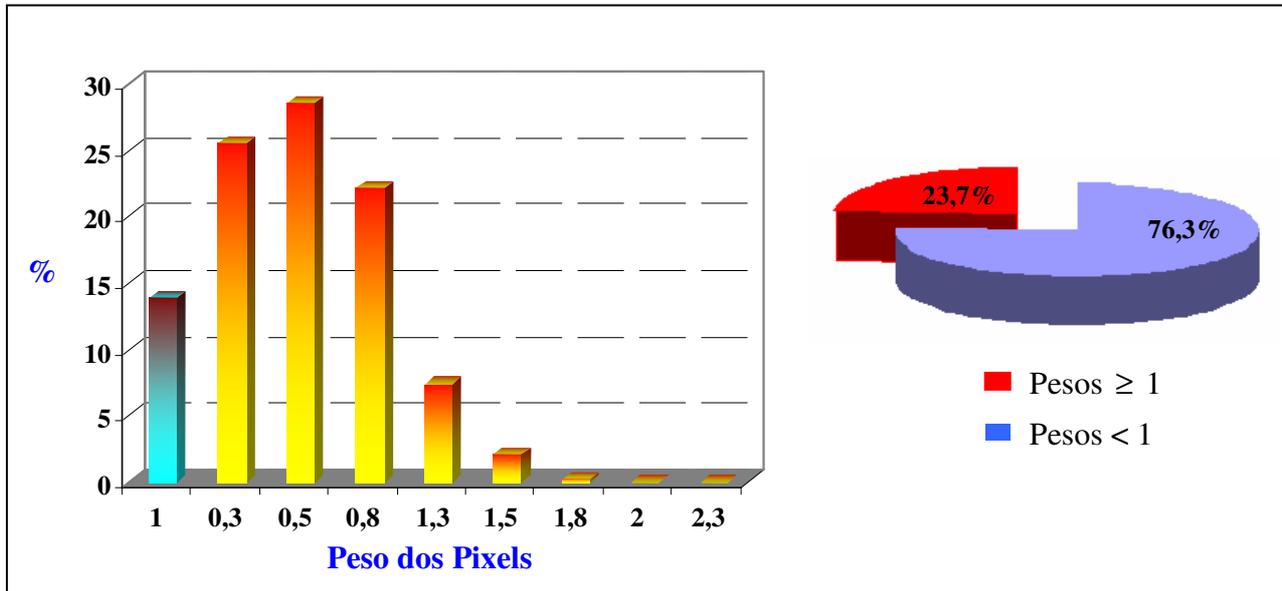


Ilustração 24: Gráficos auxiliares ao mapa da figura 26

Seguem as conclusões obtidas, a partir do mapa e dos gráficos apresentados, respectivamente pela figura 26 e ilustração 24:

___ Pesos maiores ou iguais a 1, indicam concentrações de paraquat no escoamento superficial, acima ou igual à concentração obtida pela modelagem realizada na parcela wischmeier Anual, respectivamente na mesma proporção;

___ Pesos menores que 1, indicam concentrações de paraquat abaixo da concentração obtida pela modelagem realizada na parcela wischmeier Anual;

___ Pixels com pesos iguais a 1, estão representados no gráfico pela cor azul, com o objetivo de destacar a mesma concentração de paraquat obtida através da modelagem;

___ Apesar do número reduzido de pixels, com pesos maiores ou iguais a 1, estes situam-se em locais próximos das redes de drenagem da bacia hidrográfica, o que pode favorecer ao transporte de paraquat através dos rios.

4.5.3.2. Simulação Relativa às Culturas Perenes

A ilustração 25 apresenta os cálculos que foram efetuados, para obtenção do mapa, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em culturas perenes.

(a)		x	(b)		=	(c)		
Outros	0		MDE			Cultura Perene		
Perene	1		Declividade	Peso		Declividade	Qtde	Pixels
			0,3	0,3		0	4.684.262	
			0,7	1		0,3	33.418	
			1	1,3		0,7	123.263	
			1,7	2		1	82.917	
			2	2,3		1,3	37.108	
			2,3	2,7		1,7	19.683	
			2,7	3		2	5.176	
			3	3,3		2,3	685	
		3,3		2,7	4			

Ilustração 25: Cálculos necessários para obtenção dos resultados, relativos às culturas perenes.

Seguem algumas considerações pertinentes à ilustração 25:

- ___ Foi realizada uma multiplicação entre o mapa de estrutura matricial, e o modelo digital de elevação - ambos reclassificados para culturas perenes;
- ___ A tabela c apresenta os pesos finais obtidos, relativos às culturas perenes;
- ___ Encontram-se destacados (em negrito) os pixels com pesos maiores ou iguais a 100%;

A figura 27 apresenta o mapa final, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em **Culturas Perenes**. Toda região representada pela cor verde (peso 0) corresponde às demais culturas e, as regiões do mapa representadas pelas cores amarela e vermelha correspondem às culturas perenes,

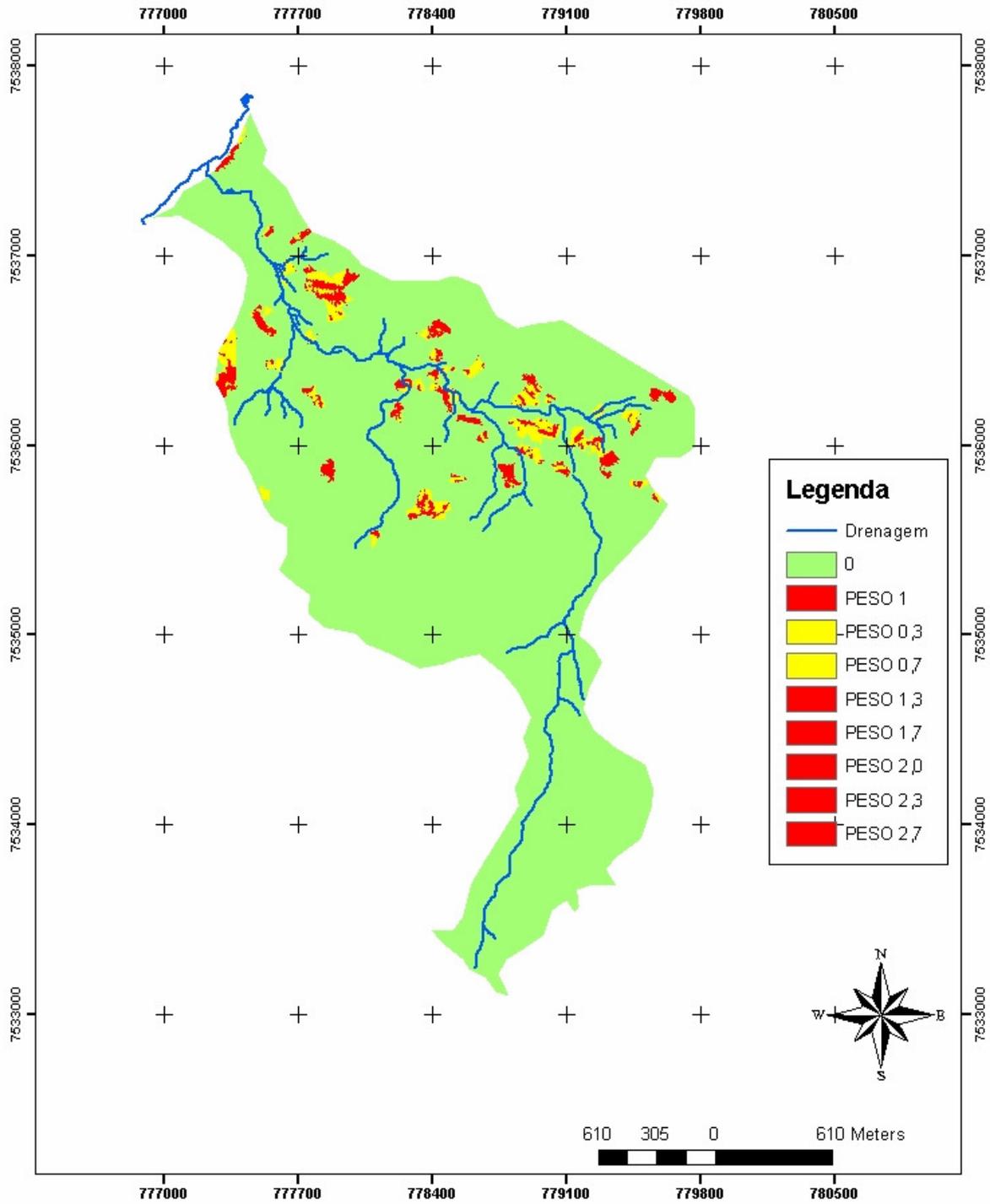


Figura 27: Mapa de Avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em Culturas Perenes.

No mapa da figura 27, os pixels amarelos representam culturas perenes, com declividades que variam entre 30% e 70%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Perene**. Já os pixels vermelhos representam culturas perenes, com declividades acima ou igual a 100%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Perene**.

A ilustração 36 apresenta dois gráficos, que foram construídos com o objetivo de auxiliar a interpretação do mapa da figura 35. Esses gráficos representam a distribuição dos pixels por peso (presentes no mapa), somente nas culturas perenes.

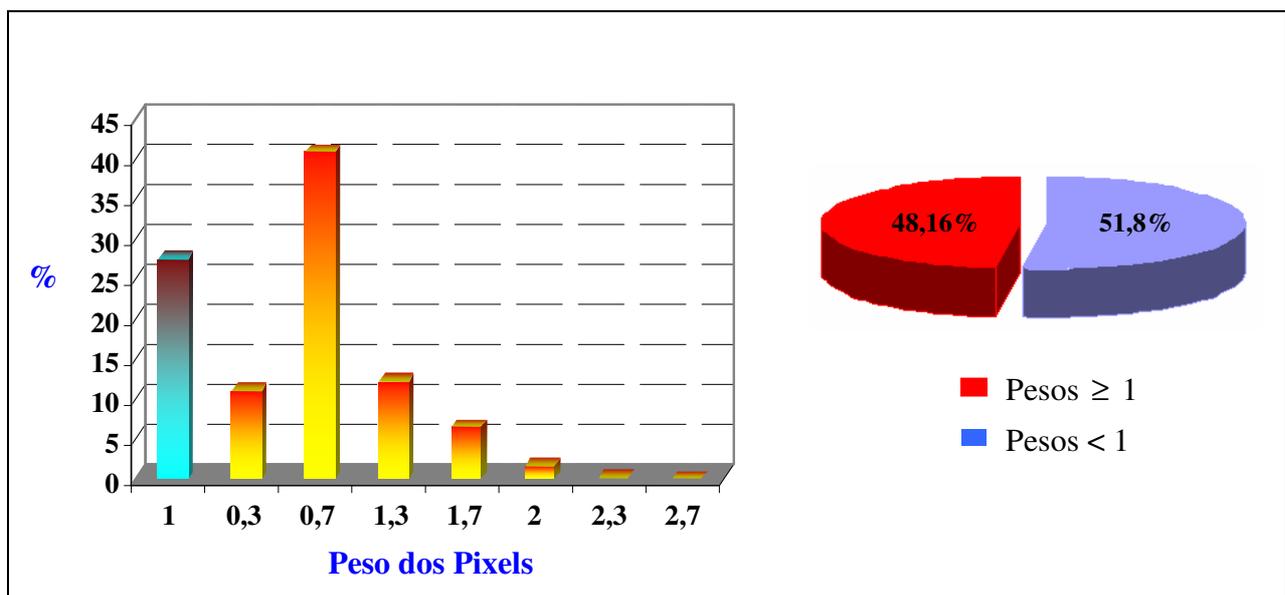


Ilustração 26: Gráficos auxiliares ao mapa da figura 27

Seguem as conclusões obtidas, a partir do mapa e dos gráficos apresentados, respectivamente pela ilustração 26 e figura 27:

___ Pesos maiores ou iguais a 1, indicam concentrações de paraquat (no escoamento superficial), acima ou igual à concentração obtida pela modelagem na parcela wischmeier **Café**;

___ Pesos menores que 1, indicam concentrações de paraquat abaixo da concentração obtida pela modelagem realizada na parcela wischmeier **Café**;

___ Pixels com pesos iguais a 1, estão representados no gráfico pela cor azul, com o objetivo de destacar concentrações equivalentes às que foram obtidas através da modelagem;

__ Observa-se uma quantidade significativa de pixels com pesos maiores ou iguais a 1 (48,16%), o que indica culturas perenes com concentrações maiores de pesticida no escoamento superficial;

__ Devido à maior distribuição de pixels com pesos vermelhos, ao longo da bacia hidrográfica, juntamente com as proximidades das redes de drenagem, identifica-se maior tendência de transporte do paraquat, pela bacia hidrográfica, nas culturas perenes.

4.5.3.3. Simulação Relativa à Mata Inicial

A ilustração 27 apresenta os cálculos que foram efetuados, para obtenção do mapa, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em regiões de mata inicial.

(a)		x	MDE	=	(c)	
	Pesos		Declividade		Mata Inicial	
Outros	0		Peso		Declividade	Qtde
Mata Inicial	1		0,2		Peso	Pixels
			0,4		0	4.161.954
			0,6		0,2	60.195
			0,8		0,4	210.559
			1		0,6	193.028
			1,2		0,8	178.799
			1,4		1	126.440
			1,6		1,2	45.807
		1,8	1,4	9.362		
		2	1,6	360		
]	1,8	12		

Ilustração 27: Cálculos necessários para obtenção dos resultados relativos às regiões cobertas por mata inicial.

Seguem algumas considerações pertinentes à ilustração 27:

__ Foi realizada uma multiplicação entre o mapa de estrutura matricial, e o modelo digital de elevação - ambos reclassificados para mata inicial;

__ A tabela c apresenta os pesos finais obtidos, relativos às regiões classificadas como mata inicial;

— Encontram-se destacados (em negrito) os pixels com pesos maiores ou iguais a 100%;

A figura 28 apresenta o mapa final, que avalia a presença do paraquat no escoamento superficial, ocorrido em regiões classificada como **Mata Inicial**. Toda região representada pela cor verde (peso 0) corresponde às demais culturas e, as regiões do mapa representadas pelas cores amarela e vermelha correspondem às regiões caracterizadas como mata inicial, ponderadas em função da declividade. Dessa forma, a concentração de paraquat, presente no escoamento superficial da parcela wischmeier **Mata**, foi ponderada de acordo com os pesos indicados no mapa.

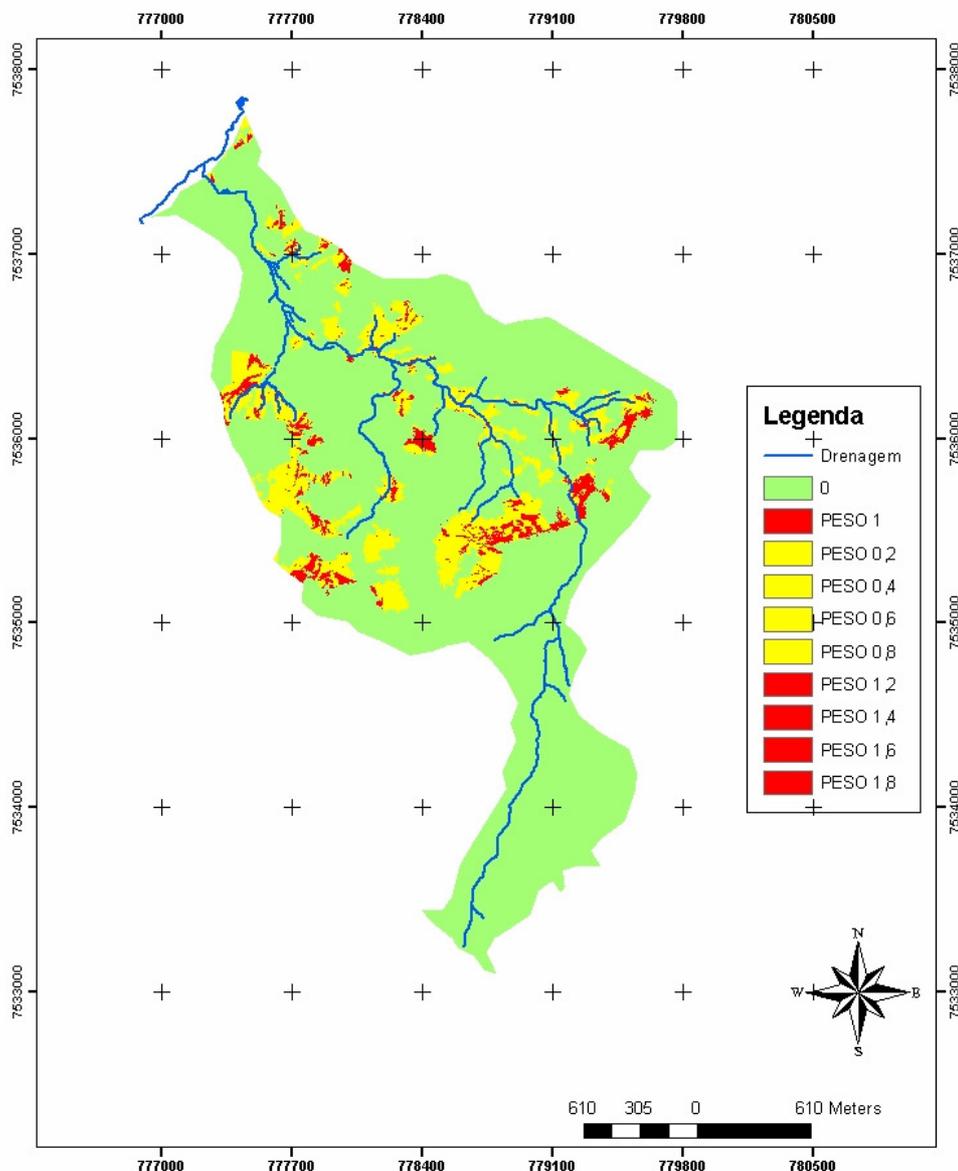


Figura 28: Mapa de avaliação da presença de paraquat no escoamento superficial em regiões cobertas por mata inicial.

No mapa da figura 28, os pixels amarelos representam as regiões classificadas como mata inicial, com declividades que variam entre 20% e 80%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Mata**. Já os pixels vermelhos representam as regiões classificadas como mata inicial, com declividades acima ou igual a 100%, em relação à declividade da parcela wischmeier **Mata**.

A ilustração 28 apresenta os gráficos, que foram construídos com o objetivo de auxiliar a interpretação do mapa da figura 38. Esses gráficos representam a distribuição dos pixels por peso (presentes no mapa), somente nas regiões de mata inicial.

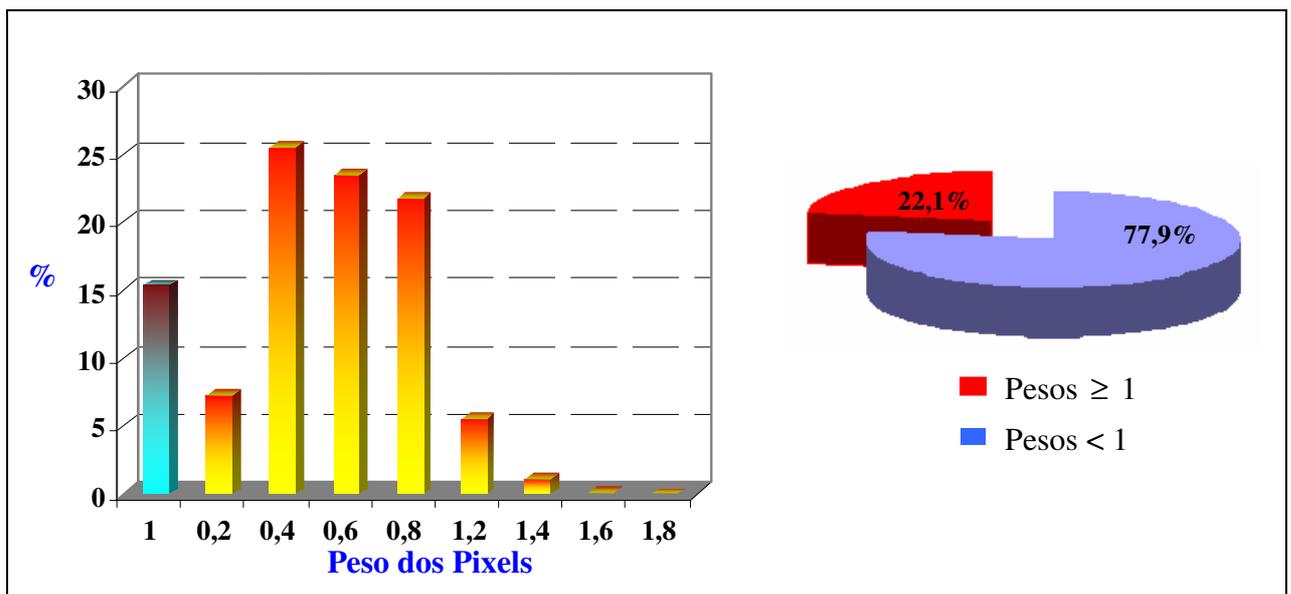


Ilustração 28: Gráficos auxiliares ao mapa da figura 44

Seguem as conclusões obtidas, a partir do mapa e dos gráficos apresentados, respectivamente pelas figuras 38 e 39:

__ Pesos maiores ou iguais a 1, indicam concentrações de paraquat (no escoamento superficial), acima ou igual à concentração obtida pela modelagem na parcela wischmeier **Mata**;

__ Pesos menores que 1, indicam concentrações de paraquat abaixo da concentração obtida pela modelagem realizada na parcela wischmeier **Mata**;

__ Pixels com pesos iguais a 1, estão representados no gráfico pela cor azul, com o objetivo de destacar concentrações equivalentes às que foram obtidas através da modelagem;

__ Ainda que a maior parte da região de mata inicial possua pesos abaixo de 1, existem locais com pesos elevados e situados nas redes de drenagem, o que pode favorecer ao transporte do paraquat, através dos rios.

__ A maior parte da região, coberta por mata inicial, possui declividade ponderada em 40%, o que indica uma proporção equivalente de concentração de paraquat (presente no escoamento superficial), em relação à concentração de paraquat, obtida pela modelagem na parcela wischmeier Mata.

4.5.3.4. Mapa de Predominância de Paraquat no Escoamento Superficial para todas as Culturas

A figura 28 apresenta o mapa de predominância de paraquat no escoamento superficial para todas as culturas da microbacia do Córrego Pito Aceso. A classificação foi realizada em função do valor máximo permitido (VMP) em água para o paraquat (10 µg/L – descrito na no cap.xx).

Considerando a distribuição de pixels do mapa da figura 29, fez-se necessário estabelecer uma faixa intermediária de VMP. A tabela 28 apresenta a quantidade de pixels distribuídos, juntamente com os valores correspondentes:

Tabela 282: Gráficos auxiliares ao mapa da figura 44

Valores dos Pixels	Qtde	%	Classificação
0	3439 120	69	Sem Aplicação
1	267 793	89,7	ABAIXO
2	60 195		
3	140 831		
4	210 559		
5	120 111		
6	193 028		
7	123 263		
8	272 289		
12	45 807	8	IGUAL
13	68 287		
14	9 362		
15	8 784	2,3	ACIMA
16	360		
17	19 683		
18	1 110		
20	5 242		
23	688		
27	4		

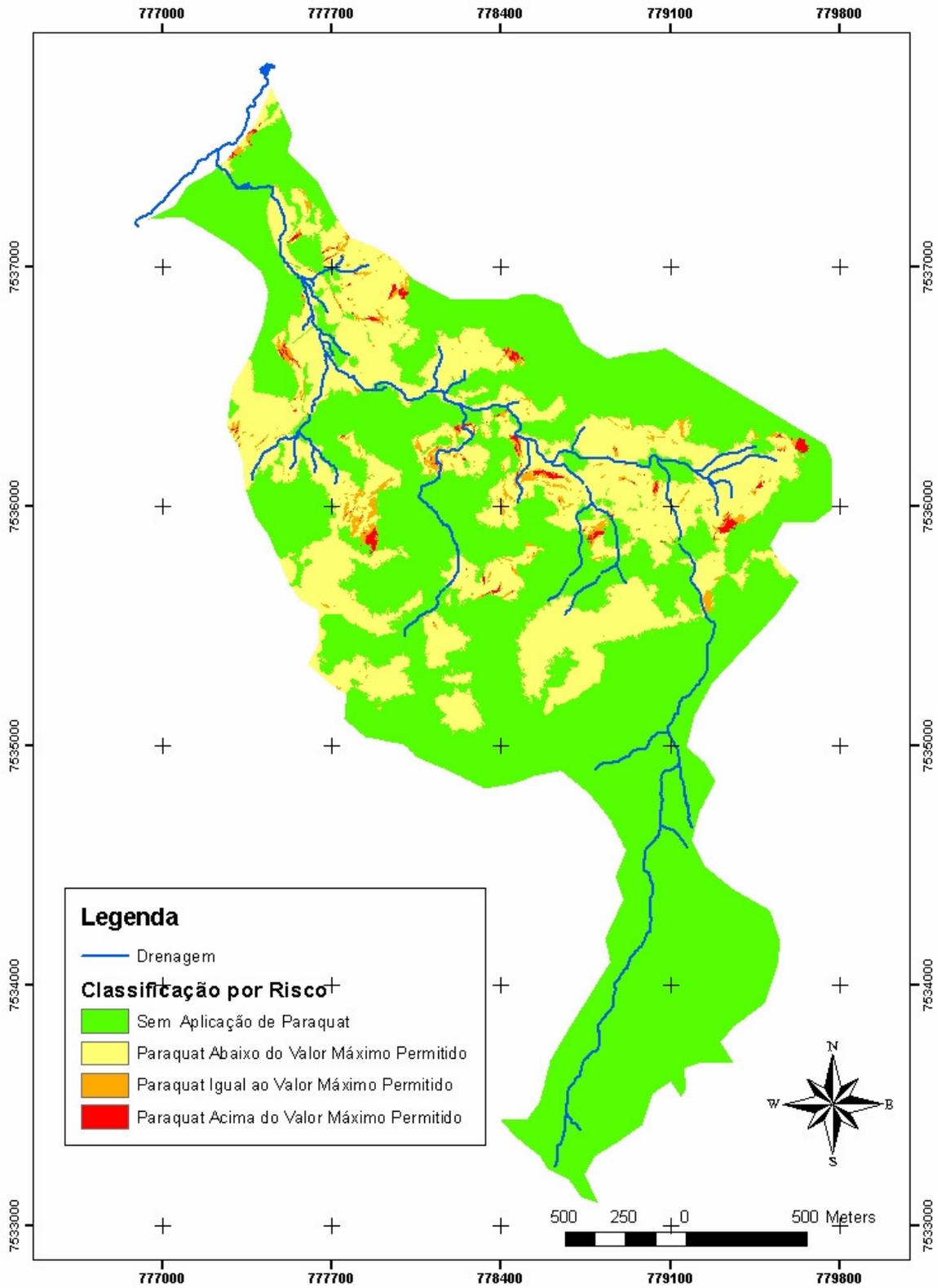


Figura 29: Mapa de predominância de paraquat no escoamento superficial para todas as culturas.

Seguem dados estatísticos relativos ao mapa de predominância da fig.29:

- __ Região sem aplicação de pesticida: corresponde a 69% da microbacia;

- __ Região com concentração de paraquat ABAIXO do valor máximo permitido (VMP): corresponde a 89,7% da região em que houve aplicação de paraquat;

- __ Região com concentração de paraquat IGUAL ao valor máximo permitido (VMP): correspondente a 8 % da região em que houve aplicação de paraquat;

- __ Região com concentração de paraquat ACIMA do valor máximo permitido (VMP): correspondente a 2,3 % da região em que houve aplicação de paraquat;

5 Conclusões e Recomendações

Com relação à presente tese, seguem as conclusões levantadas, juntamente com algumas recomendações para futuros estudos:

__ As concentrações modeladas de paraquat no escoamento superficial (ocorrido nas parcelas Wischmeier) permaneceram dentro do intervalo limitado pela análise laboratorial;

__ Foi simulado a presença significativa de paraquat no escoamento superficial, próximo às redes de drenagem, indicando possibilidade de transporte para os rios;

__ Os resultados da simulação indicam que as áreas ocupadas por culturas perenes possuem concentrações maiores de paraquat no escoamento superficial, quando comparadas com as demais culturas analisadas;

__ Na etapa de modelagem, realizada no Excel®, foi verificado grande influência do fator de interceptação foliar, nas simulações das concentrações de paraquat no escoamento superficial;

__ As concentrações de paraquat no escoamento superficial, obtidas através da modelagem, podem ser comparadas com limites ambientais toleráveis, a partir de trabalhos futuros;

__ Pequenas variações na duração da chuva intensa, causam grandes variações nas concentrações de paraquat no escoamento superficial;

__ A parcela Wischmeier Café apresentou escoamento superficial bem reduzido e elevada concentração de paraquat, dentre todas as parcelas Wischmeier analisadas;

__ É perfeitamente possível o desenvolvimento e aplicação da mesma modelagem e simulação utilizada nesta tese, para outras substâncias químicas;

__ A modelagem em SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi essencial para a etapa de simulação, uma vez que possibilitou a ponderação dos resultados, em função das diferentes declividades existentes;

__ Há possibilidade de adequação do mesmo modelo e metodologia de simulação adotada para outras bacias hidrográficas;

__ A partir dos resultados obtidos através da modelagem e simulação, torna-se possível desenvolvimento de novas pesquisas, no sentido de avaliar a eficiência do uso do paraquat em culturas;

__ De acordo com os mapas resultantes da simulação, observa-se grande influência da declividade de uma bacia hidrográfica, nas simulações das concentrações de paraquat no escoamento superficial;

__ A modelagem realizada inicialmente na região de cabeceira da microbacia do Córrego Pito Aceso, juntamente aos respectivos resultados obtidos e avaliados pela análise laboratorial, favoreceram a etapa de simulação em ambiente SIG na microbacia do Córrego Pito Aceso;

__ De acordo com os perfis de precipitação e escoamento, relativos à região de cabeceira do Córrego Pito Aceso, foi verificada ocorrência de escoamentos em períodos de chuvas intensas;

__ A parcela wischmeier Mata apresentou perfil de escoamento superficial bem atípico, durante os períodos chuvosos, quando comparada com as demais parcelas analisadas.

__ Possibilidade de novas pesquisas, com o objetivo de avaliar o grau de influência das propriedades físico-químicas do solo, nos resultados da modelagem, isto é, o a influência do tipo de solo na modelagem realizada;

__ A simulação a partir da utilização da declividade como parâmetro de influência é bastante útil, em situações de carência de dados mais precisos de uma bacia de estudo.

6

Referências Bibliográficas

- 1 ABREU, T.C.C. **Avaliação do transporte do herbicida paraquat em solos do campo experimental de Bom Jardim, RJ.** Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 2008.
- 2 ANVISA, Site da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Paraquat.**
- 3 ALENCAR, D.B.S.D.; SILVA, C.L.D.; OLIVEIRA, C.A.D.S. **Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal.** Eng.Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.103-112, jan/abr. 2006.
- 4 ALMEIDA, G.L.; SCHMITT, G.C. et al. **Os riscos e danos nas intoxicações por paraquat em animais domésticos.** Ciência Rural, pp. 1506-1512. UFSM, 2007.
- 5 AQUINO, D.N.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M.; LOPES, F. B.; OLIVEIRA, A.D.S. **Estimativa do escoamento superficial do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG.** Rev. Tecnol. Fortaleza, v.29, n.1, p. 37-45, jun. 2008.
- 6 ARIAS-ESTÉVEZ, M.; LÓPEZ-PERIGANO, E.; et al. **The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources.** Agriculture, Ecosystems & Environment, V.123, Issue 4, p.247-260, February, 2008.
- 7 BARRA, R.; VIGHI, M. ; et al. **Coupling Soilfug Model and GIS for Predicting Pesticide Pollution of Surface Water at Watershed Level.** Environ. Sci. Technol., 34 (20), pp 4425-4433, september 16, 2000..
- 8 BARROS, A.M.L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à Bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado. UFPE, 2008.
- 9 BASTOS, R.X. et al. **Legislação sobre controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. A experiência brasileira comparada à Panamericana.** In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS, San Juan, Porto Rico. Anais. 2004.
- 10 BERENZEN, N. et al. **A comparison of predicted and measured levels of runoff-related pesticide concentrations in small lowland streams on a landscape level.** Chemosphere 58, pp. 683-691, 2004.
- 11 BOIVIN, A.; CHERRIER, R.; SCHIAVON, M. **A comparasion of five pesticides adsorption and desorption processes in thirteen contrasting field soils.** Chemosphere, v.61, Issue 5, November, 2005.
- 12 BONGANHA, C.A. **A utilização da modelagem matemática como ferramenta para gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos**

- subterrâneos: uma proposta para o município de Araraquara.** UNIARA, 2005.
- 13 BONGANHA, C.A. et al. **Conceitos e fundamentos da modelagem matemática para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos.** Revista Analytica. Agosto/Setembro, nº30, 2007.
 - 14 BRANDÃO, R.A.; et al. **Caracterização física dos solos em diferentes posições de relevo em uma área de pastagem no município de Nova Friburgo –RJ.** XII SBGFA. UFV, 2009.
 - 15 BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p.11356-11361, 30 de julho de 1986.
 - 16 BRASIL. **Ministério da Saúde.** Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
 - 17 BRASIL. **Ministério da Saúde.** Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Diário da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001.
 - 18 BRASIL. **Ministério da Saúde.** Portaria nº 518, 25 de março de 2004.
 - 19 BROWER, W.W.M.; BOESTEN, J.J.T.I.; LINDERS, J.B.H.; VAN DER LINDEN, A.M.A. **The behavior of pesticide in soil: dutch guidelines for laboratory studies and the evaluation.** Pesticide Outlook, Oct., p.23-28, 1994;
 - 20 BURROUGH, P.A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment.** Oxford, Oxford University Press, 1986.
 - 21 CAMARA NETO, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos.** Tese de doutorado. INPE, 1995.
 - 22 CARSEL, R.F., SMITH, C.N., MULKEY, L.A., DEAN, J.D., JOWISE, P. **User's Manual for Pesticide Root Zone Model (PRZM), Release 1.** US Government Printing Office. Washington, DC USEPA 600/3-84-109.
 - 23 CHEN, B. et al. **PeLM: Modeling of Pesticide-Losses Runoff and Sediment Transport.** Journal of Environmental Science and Health, Part B, Vol.39, Issue 4, pg.613-626 jan, 2005.
 - 24 DAMIN, V. **Biodegradação, sorção e dessorção do herbicida ¹⁴C-Diuron em dois latossolos tratados com lodo de esgoto.** Dissertação de mestrado. USP, 2005.
 - 25 DAMS, R.I. **Pesticidas: Usos e perigos à saúde e ao meio ambiente.** Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal, v.7, n.2, dez.06. 2006.
 - 26 DA SILVA, D.R.O.; AVILA, L.A.et al. **Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil.** Cienc.Rural, vol.39, nº9. Santa Maria, dez, 2009.
 - 27 DOMIGAN, A.S., BYRERLEIN, D.C., DAVIS, H.H., CRAWFORD, N.H. **Agricultural Runoff Management Model, Version II: Refinement and Testing.** US Government Printing Office. Washington, DC, USEPA 600/3-77-098, 1977.

- 28 FELGUEIRAS, C.A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação.** Tese de Doutorado. INPE, 2001.
- 29 FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.Y.P.; SILVA, A.S.; SPADOTTO, C.A. **Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA).** Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente, Curitiba, v.11, p. 1-16, jan/dez, 2001.
- 30 FERRAZ, F.F.B.; MILDE, L.C.E.; MORTATTI, J. **Modelos Hidrológicos Acoplados a Sistemas de Informações Geográficas: um Estudo de Caso.** Revista de Ciência & Tecnologia. 14 – pp.45-56. Novembro, 1999.
- 31 FREIRE, F.C. **Avaliação dos possíveis efeitos sobre o desfecho da gravidez em uma população de mulheres expostas cronicamente a agrotóxicos, na região do Vale de São Lourenço, Nova Friburgo, RJ.** Dissertação de mestrado. ENSP – FIOCRUZ, 2005.
- 32 GARCIA, C.S. **Sistema especialista para avaliação do comportamento de pesticidas em bacias hidrográficas.** Dissertação de Mestrado, UFPR, 2005.
- 33 GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. **Environmental Modeling with GIS.** Oxford University Press. 1993.
- 34 HASSALL, A.K. **The chemistry of pesticides: Their Metabolism, Mode of Action and Uses in Crop Protection.** Weinheim: Verlag Chemie, 1982.
- 35 HEUVELINK, G.B.M. **Error Propagation in Environmental Modelling with GIS.** Bristol, Taylor and Francis Inc, 127p. 1998.
- 36 IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa nº84, Art.3º, 15 de outubro de 1996.**
- 37 INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V..L.; CONSTANTIN, J.. **Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná.** Planta Daninha vol.21 nº2. Viçosa, 2003.
- 38 IRITANI, M.A. **Modelação matemática tridimensional para proteção das captações de água subterrânea.** Tese de doutorado. USP, 1998.
- 39 KARICKHOFF, S.W. **Semi-empirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants.** Chemosphere, v.10, n.8, p.833-846, 1981.
- 40 KNIESSEL, W.G. **CREAMS – A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems.** Conservation Research Report. Washington, 1980.
- 41 LI, Y.R.; HUANG, G.H.; LI, Y.F.; STRUGER, J. FISCHER, J.D. **A pesticide runoff simulation runoff losses of pesticides from agricultural lands.** Water Science and Technology: A Journal of The International Association on Water Pollution Research ; 47(1):33-40, 2003.
- 42 LINDERS, J.; MENSINK, H.; STEPHENSON, G.; WAUCHOPE, D.; RACKE, K. **Foliar interception and retention values after pesticide application. A proposal for standardized values for environmental risk assessment.** Pure Appl. Chem., Vol. 72, Nº 11, pp.2199-2218. IUPAC, 2000.

- 43 LMEIDA, G.L.; SCHMITT, G.C.; BAIROS, A.V.; EMANUELLI, T.; GARCIA, S.C. **Os Riscos e Danos nas Intoxicações por Paraquat em Animais Domésticos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.5, p. 1506-1512, set-out, 2007.
- 44 LUDOVICE, M.T.F. **Influência de faixa filtro de Brachiaria decumbens na retenção de atrazina, nutrientes e sedimentos em escoamento superficial**. Tese de doutorado. UNICAMP, 2003.
- 45 LUNA, A.J; SALES, L.T; SILVA, R.F. **Agrotóxicos: Responsabilidade de Todos (Uma abordagem da questão dentro do paradigma do desenvolvimento sustentável)**, 2004.
- 46 MACKAY, D. **Multimedia environmental models: The fugacity Approach**. 2 ed. Lewis Publishers, Boca Raton Florida, USA, 1991.
- 47 MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; CRUCIANI, D.E. **Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 8, nº1. jan/mar, 2003.
- 48 MANTOVANI, E.C. **Modelagem de lixiviação do herbicida picloram através de lisímetro de drenagem sob vegetação de Brachiaria decumbens**. Tese de Doutorado. UNICAMP, 2007.
- 49 MARASCHIN, L. **Avaliação do grau de contaminação por pesticidas na água dos principais rios formadores do Pantanal Mato-Grossense**. Dissertação de Mestrado. UFMT, 2003.
- 50 MARTINS, E.D.L. **Previsão da lixiviação de pesticidas usados na cultura de algodão no estado de Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado, UFMT. Cuiabá, 2006.
- 51 MATTA, L.R.S. **Simulação do balanço e transporte de nitrogênio e fósforo provenientes de dejetos animais aplicados em áreas agrícolas – estudo de caso: bacia do Rio Toledo – Paraná – Brasil**, Tese de doutorado, USP, 2009.
- 52 MELNIKOV, N.N. **Chemistry of Pesticides**. Springer: New York, 1971.
- 53 MENDES, C. A.R. **Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim – RJ**. Tese de doutorado. COPPE, 2005.
- 54 MESQUITA, C.M. **Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxico na microbiota do solo. Estudo de caso: Paty do Alferes – RJ**. Dissertação de Mestrado. FIOCRUZ, 2005.
- 55 MILHOME, M.A.L.; SOUSA, D.O.B.; LIMA, F.A.F.; NASCIMENTO, R.F. **Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE**. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.14, n.3, 2009.
- 56 MIRANDA, J.P.L. **Propriedades físico-hídricas de um solo submetido a cultivos perenes e a pousio em ambiente agrícola serrano – Bom Jardim (RJ)**. Dissertação de Mestrado. UFRJ, 2008.

- 57 MUSUMECI, M.R. **Defensivos agrícolas e sua interação com a microbiota do solo**. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NVES, M.C.P. **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.
- 58 OECD. **Report f the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group**. Braunschweig, Germany, 2000.
- 59 OLIVEIRA, E. S. **Indicadores Geoambientais de Qualidade das Águas na Bacia do Córrego Sujo, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Teresópolis (RJ)**. Tese de doutorado. UFF, 2007.
- 60 OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde. **Manual de Vigilância da Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos**. Brasília. 1997.
- 61 PARAQUAT. Site: www.paraquat.com.br/portugues. Centro de Informações sobre Paraquat em nome da Syngenta Crop Protection AG, 2009.
- 62 PARAÍBA, L.C.; LUIZ, A.J.B.; PÉREZ, D.V. **Estimativa da superfície específica de solos e do coeficiente de sorção de pesticidas**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA, fev. 2005.
- 63 PERON, A.P. et al. **Ação tóxica do herbicida paraquat sobre o homem**. Arq. Ciênc.Saúde Unipar, 7(3): 291-294, 2003.
- 64 PESSOA, M.C.P.Y, et al. **Identificação de áreas de exposição ao risco de contaminação de águas subterrâneas pelos herbicidas atrasina, diuron e tebutiurion**. Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente. Curitiba, v.13, p.111-122. jan/dez, 2003.
- 65 PICCOLO, A. et al. **Adsorption of glyphosate by humic substances**. Journal of Agriculture and Food Chemistry, v.44, p.2442-2446, 1996.
- 66 PRADO, R.B.; COUTINHO, H.L.C.; BARBOSA, J.C.; ABOIM, M.C.R.; PEREZ, P.R.N.; ANDRADE, A.G.; LEITE, A.A.S.; DART, R.O. **Indicadores de qualidade de solo e água na avaliação da dinâmica de nutrientes na paisagem: subsídios para gestão de bacias hidrográficas**. 2008.
- 67 PRADO, R.B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. Tese de doutorado. USP, 2004.
- 68 PRATA, F. **Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrasina**. Tese de Doutorado. USP, 2002.
- 69 PRATA, F.; LAVORENTI, A. **Comportamento de herbicidas no solo: Influência da matéria orgânica**. Revista Biociências, v.6, p.17-22, 2000.
- 70 PROBST, M.; BERENZEN, N.; LENTZEN-GODDING, A.; SCHULZ, R. **Scenario-based simulation of runoff-related pesticide entries into small strems on a landscape level**. Ecotoxicology and Environmental Safety. Science Direct, 2005.
- 71 PRODANOFF, J.H.A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. Tese de doutorado. COOPE – UFRJ. 2005.
- 72 PRUSKI, F.F; BRANDÃO, V.S.; DA SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. 2ed. UFV, 2004.

- 73 REIGART, J.R.; ROBERTS, J.R. **Recognition and Management of Pesticide Poisonings**. 5th Edition, 1999.
- 74 RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**. Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2003.
- 75 REUS, J.; LENNERTSE, C. **Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides. Results of the European CAPER Project, CLM 426**. Utrecht, Centre for Agriculture and Environmental. 1999.
- 76 RIBAS, P.P.; MATSUMURA, A.T.S. **A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.10, n° 14, p. 149-158, jul/dez. 2009.
- 77 RIBEIRO, M.L.; LOURENCETTI, C. et al. **Pesticidas: Usos e Riscos Para o Meio Ambiente**. HOLOS Environmental, v.8, n.1, 2008.
- 78 RIZZI, F.R. **Sorção de sulfentrazone em função da textura, matéria orgânica e umidade de solos**. Dissertação de mestrado. UNESP, 2003.
- 79 ROSA, F.C.; PINHEIRO, A.; SILVA, M.R. **Avaliação do potencial de lixiviação de agroquímicos na Bacia do Itajaí**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.
- 80 SANTOS, I.M; ZEILHOFER, P. **Modelagem hidrológica integrada em sistemas de informação geográfica**. In: Geodesia online, Florianópolis, v.4, p.1-16, 2005.
- 81 SCHRIEVER, C.A.; OHE, P.C.V.D.; LIESS, M. **Estimating pesticide runoff in small streams**. Chemosphere 68, 2161-2171. 2007.
- 82 SEKI, Y.; YURDAKOÇ, K. **Paraquat adsorption onto clays and organoclays from aqueous solution**. Journal of Colloid and Interface Science. 2005.
- 83 SERRA, A.; DOMINGOS, F.; PRATA, M.M. **Intoxicação por Paraquat**. Serviço de Nefrologia – Hospital de Santa Maria. Lisboa, 2003.
- 84 SILVA, C.L. **Análise da vulnerabilidade ambiental aos principais pesticidas recomendados para os sistemas de produção de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2004.
- 85 SILVA, L.C. **Modelagem e Simulação**. Departamento de Engenharia Rural. Boletim Técnico: MS:02/06 em 17/06/2006. UFES, 2006.
- 86 SIMPAN. **Sustentabilidade Regional. IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal**. Corumbá-MS, 23 a 26 Nov. 2004.
- 87 SYNGENTA. Site: www.syngenta.com.br/pt/produtosemarcas/protecao-de-cultivos/Pages/herbicidas.aspx. Syngenta, 2009.
- 88 SOUZA, R.A.B. **Análise de destino ambiental e comparação de pesticidas através do modelo de multimeios CAPA**. Dissertação de mestrado. PUC-RJ. 2003.
- 89 SOUZA₂, M.E.DE. **Utilização de sistema de informação geográfica (SIG) na análise do meio físico. Estudo de caso: a área do município de**

- Campinas entre meridianos 45°15' e 46°45'W e os paralelos 22°45' e 22°51'S.** Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 1997.
- 90 SPARK, K.M.; SWIFT, R.S. **Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption.** Department of Soil Science, University of Reading, Whiteknights, Reading, Berkshire, RG6 2AA, UK, 2002.
- 91 SPOHR, R.B.; CARLESSO, R.; ELTZ, F.L.F.; BROETTO, T.; FLORES, C.H.; KNIES, A.E. **Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul.** XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado-RS, 05-10 agosto. 2007.
- 92 STERLING, T.M. **Mechanisms of herbicide absorption across membranes and accumulation in plant cells.** Weed Science, vol. 42:263-276, 1994.
- 93 TIAN, X. et al. **Integrating mathematical model with GIS to evaluate potential of insecticide leaching and runoff.** Environmental Science, Paper nº 95058, Water Resources Bulletin. April 1, 1997.
- 94 VALENCIA, C.A.V. **Aplicação da adsorção em carvão ativado e outros materiais carbonosos no tratamento de águas contaminadas por pesticidas de uso agrícola.** Dissertação de Mestrado. PUC-RJ, 2007.
- 95 VIEIRA, E.M.; PRADO, A.G.S.; LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M.O.O. **Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4) em solo na ausência e presença de matéria orgânica.** Química Nova, 22(3), 1999.
- 96 WAXMAN, M. **Agrochemical and Pesticide Safety Handbook.** Lewis Publishers. 1998.
- 97 WISCHMEIER, W.H. **A rainfall index for a Universal Soil Loss Equation.** Proceedings of Soil Science Society of America, 23: 246-349, 1959.
- 98 ZEILHOFER, P. et al. **Um ambiente SIG para modelagem integrada da qualidade da água utilizando QUAL2E.** Caminhos da Geografia – Revista on line, 8(10) 107-125, setembro. Instituto de Geografia UFU, 2003.

7. Anexos

7.1. Curva Analítica Relativa às Análises das Amostras de Escoamento Superficial

A figura xx apresenta a curva analítica (desenvolvida a partir do método AOAC 969.09) representada na figura xx:

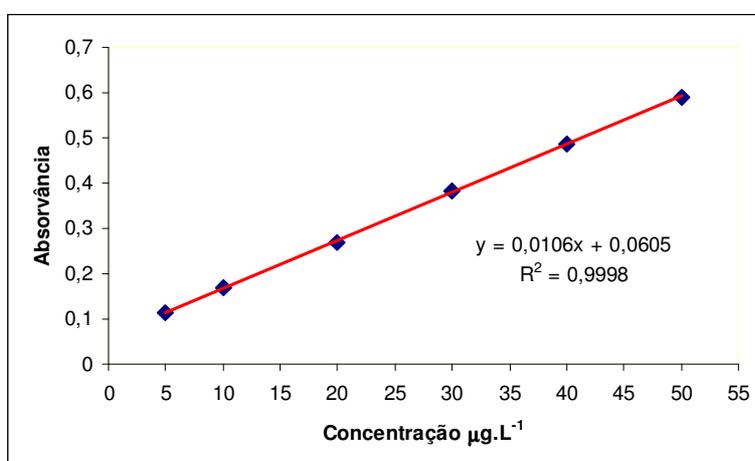


Figura 36: Curva analítica da reação do paraquat.

7.2. Tabela Com Resultados das Análises das Amostras de Escoamento Superficial

Tabela 24: Resultados das análises das amostras de escoamento superficial.

Raquel Andrade Donagemma - UFRJ

Parcela	Identificação das Amostras	Replicatas	Absorvância	C	Média	DP
CAFÉ	1 A	1	0,140	7,5	7,3	0,191
		2	0,136	7,12		
		3	0,138	7,28		
	1 B	1	0,133	6,852	6,781	0,29
		2	0,135	7,028		
		3	0,129	6,462		
POUSIO	2 A	1	0,117	5,325	5,312	0,177
		2	0,119	5,482		
		3	0,115	5,128		
	2 B	1	0,116	5,235	5,318	0,264
		2	0,120	5,613		
		3	0,115	5,105		
ANUAL	3 A	1	0,072	1,058	1,015	0,104
		2	0,070	0,896		
		3	0,72	1,091		
	3 B	1	0,073	1,179	1,022	0,144
		2	0,071	0,991		
		3	0,070	0,896		
MATA	4 A	1	0,071	0,987	0,928	0,051
		2	0,070	0,902		
		3	0,070	0,896		
	4 B	1	0,072	1,085	0,770	0,288
		2	0,068	0,708		
		3	0,066	0,519		

* C - Concentração de paraquat; DP - Desvio Padrão.

Parcelas com concentrações de paraquat inferiores a $1,3 \mu\text{g L}^{-1}$ foram consideradas ausentes de paraquat. Assim, a parcela **Anual** foi classificada como “não-detectado”.