

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS  
HÍDRICOS

**DEGRADAÇÃO DO SOLO PELA EROSÃO HÍDRICA E  
CAPACIDADE DE USO EM SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA PILOTO NO SUL DE MINAS  
GERAIS**

BARBARA KAROLINE FLAUZINO

Itajubá - MG

Outubro/2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS  
HÍDRICOS

BARBARA KAROLINE FLAUZINO

**DEGRADAÇÃO DO SOLO PELA EROSÃO HÍDRICA E  
CAPACIDADE DE USO EM SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA PILOTO NO SUL DE MINAS  
GERAIS**

Dissertação submetida ao Programa da Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Área de Concentração:** Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni

**Co-Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Nívea Adriana Dias Pons

Itajubá - MG

Outubro/2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Cristiane N. C. Carpinteiro- CRB\_6/1702

F587d

Flauzino, Bárbara Karoline

Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-  
bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. / por Bárbara Karoline  
Flauzino. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2012.

91 p. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni.

Coorientadora : Profa. Dra. Nívea Adriana Dias Pons.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Erosão hídrica. 2. Áreas degradadas. 3. Capacidade de uso da terra.  
4. Uso e ocupação e atributos físicos. I. Melloni, Eliane Guimarães, orient.  
II. Pons, Nívea Adriana Dias, coorient. III. Universidade Federal de Ita-  
jubá. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS  
HÍDRICOS

BÁRBARA KAROLINE FLAUZINO

DEGRADAÇÃO DO SOLO PELA EROÇÃO HÍDRICA E CAPACIDADE DE  
USO EM SUB-BACIA HIDROGRÁFICA PILOTO NO SUL DE MINAS  
GERAIS

Dissertação aprovada por banca examinadora em 05 de outubro de 2012, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva (UFLA)

Prof. Dr. Nilton Curi (UFLA)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Adinele Gomes Guimarães (UNIFEI)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Nívea Adriana Dias Pons (UNIFEI)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni (UNIFEI)

Itajubá-MG

Outubro/2012.

A Deus,

Por nunca ter me desamparado.

Pelas bênçãos a mim concedidas.

**OFEREÇO**

Aos meus pais,

Meus exemplos de dedicação e bondade.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

As professoras Eliane Guimarães Pereira Melloni e Nívea Adriana Dias Pons, pela confiança no meu trabalho, pelos ensinamentos, orientações, paciência e transmissão do conhecimento.

Ao professor Nilton Curi, pelos ensinamentos, contribuições e tranquilidade. Por nos ter recebido tão bem em Lavras, sempre gentil e solícito.

Aos professores Marx Leandro Naves Silva e Adinele Gomes Guimarães, por integrarem a banca examinadora e pelas valiosas contribuições.

A minha família, que sempre acreditou e me apoiou em todos os momentos. A minha mãe, meu exemplo de vida, pelas batalhas e esforços despendidos na minha educação. Por nunca ter me faltado, especialmente, por ter emprestado o carro e por ter preparado os lanches para os trabalhos de campo.

Ao meu pai, que me trazia quando criança a UNIFEI, e me fez sonhar em me formar e estudar no seu local de trabalho.

A amiga Olívia Lima, meu exemplo de garra, por todos os momentos que passamos durante o mestrado, pela amizade, paciência, companhia em campo e valiosas contribuições dadas ao trabalho.

Aos colegas Oswaldo Rodrigues e André Barouch, pelo auxílio nos trabalhos de campo e pelas risadas proporcionadas durante esse árduo percurso.

A colega Tânia Aparecida de Souza Barbosa pelos conselhos e auxílio nas análises laboratoriais.

Ao colega Josivaldo Rodrigues pela ajuda nos trabalhos de campo, nas análises laboratoriais e descontração nos momentos mais difíceis.

Aos colegas Cláudio, João Luis, Jorjão, João Victor, Francisca e Regina, pela companhia e por terem tornado meus longos dias no laboratório tão agradáveis.

Ao professor Marcelo Ribeiro Barison, por ter cedido, gentilmente, o Permeâmetro de Guelph. A Glaucielen Faria Ribeiro pelo auxílio na montagem e utilização do permeâmetro.

Ao Professor Afonso Henriques Moreira Santos, por ter contribuído no meu crescimento profissional, pela confiança e oportunidade de realizar o mestrado.

Aos amigos Reinis Osis, Maíra Dzedzej, Marlene Ribeiro e Vanessa Cristina Santos, pela amizade, paciência e sugestões dadas ao trabalho.

Aos colegas Diego Castro e Thiago Ribeiro, pelo ajuda nos trabalhos de campo.

Aos moradores da bacia do ribeirão José Pereira, especialmente Sr. Tiãozinho, por permitirem acesso às propriedades e pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Ao meu noivo, e grande amor da minha vida, Clauzer da Silva Ribeiro, pelo carinho, companhia, paciência, compreensão e, sobretudo, espera.

A todos os brasileiros, cujos esforços diários permitem que o governo federal financie trabalhos como esse, mesmo que grande parte da população não possa usufruir diretamente de um suporte semelhante para desenvolver suas atividades.

A Universidade Federal de Itajubá, minha segunda casa, onde comecei a construir minha carreira profissional e encontrei pessoas maravilhosas, cujos ensinamentos vou levar sempre comigo.

## RESUMO

FLAUZINO, B. K. **Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais**. 2012. Dissertação de Mestrado (Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá.

Quando o processo de ocupação de uma bacia ocorre sem planejamento e com ausência de técnicas adequadas de manejo, surgem diversos impactos negativos ao meio físico, biótico, social e econômico. A degradação do solo, especialmente aquela que causa a sua exposição e a perda da camada fértil, pode ser considerada um dos principais impactos do meio físico, afetando a qualidade dos recursos hídricos, a biota (aquática e do solo) e o modo de vida da população que possui o solo como sua forma de sustento, por meio da agropecuária. Nesse contexto, os objetivos do trabalho foram o levantamento e o diagnóstico da degradação do solo pela erosão hídrica, na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira, município de Itajubá, MG. Foi verificado que os processos de degradação do solo pela erosão hídrica ocorrem principalmente nas áreas de pastagem, cobertura do solo que predomina na sub-bacia. Em geral, as degradações estão presentes em encostas com formas convexas e em declividades superiores a 50%. Aproximadamente 95% das terras estão nas Classes VI e VII de Capacidade de Uso, condicionadas, sobretudo, pelo relevo forte ondulado e montanhoso. As formas de utilização da terra estão adequadas às classes de capacidade, no entanto, a ausência de técnicas conservacionistas no manejo das pastagens constitui fator preponderante para a instalação dos processos de degradação.

**Palavras-chave:** erosão hídrica, áreas degradadas, capacidade de uso da terra, uso e ocupação e parâmetros físicos.

## ABSTRACT

FLAUZINO, B. K. **Soil degradation by the water erosion and land capability in main watershed in southern Minas Gerais**. 2012. Mastering Dissertation (Environmental and Water Resources). Universidade Federal de Itajubá.

When the process of a watershed occupation happens without planning and with the lack of proper managing techniques several negatives impacts appear to physical, biotic and socioeconomic means. The soil degradation, especially the one causing its exposition and the loss of fertile layer, can be considered one of the main impacts of the physical means. It affects the quality of water resources, the biota (water and soil) and the life quality of the population, who has the soil as their sustaining fountain through livestock. In this context, this paper aimed in the study and diagnoses of the soil degradation by the water erosion in José Pereira River's watershed, in the city of Itajubá, MG. It was confirmed that the soil degradation process by the water erosion happens mainly in pasture areas, soil covering predominant in the watershed. In general, the degradation occurs in convex slopes and slopes superior to 50%. Approximately 95% of the lands are in Class VI e VII of land capability, conditioned, mainly, by the strongly undulated and mountainous relief. The ways of land use are adequate to the classes of land capability, therefore the lack of preservative techniques in the pasture managing constitutes outstanding factor to the degradation process happening.

**Keywords:** water erosion, degraded areas, land capability, soil use and occupation, physical parameters.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1:</b> Fluxograma das principais etapas do estudo. ....	18
<b>Figura 4.2:</b> Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira em âmbito municipal. ....	19
<b>Figura 4.3:</b> Histograma de precipitação na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. .	20
<b>Figura 4.4:</b> Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. ....	21
<b>Figura 4.5:</b> Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. ....	22
<b>Figura 4.6:</b> Mapa de unidades litoestatigráficas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. ....	23
<b>Figura 4.7:</b> Mapa de unidades geomorfológicas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. ....	26
<b>Figura 4.8:</b> Mapa de solos da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira. ....	27
<b>Figura 4.9:</b> Áreas degradadas alvo do estudo (a) deslocamento de massa em corte de estrada (b) pastagem erodida (c) talude erodido (d) erosão em área de empréstimo. ....	29
<b>Figura 4.10:</b> Mensuração das áreas degradadas, realizada com trena ou régua graduada, durante a etapa de caracterização. ....	30
<b>Figura 4.11:</b> Procedimentos de coleta de amostras deformadas de solo. ....	31
<b>Figura 4.12:</b> Procedimentos de coleta de amostras indeformadas de solo. ....	32
<b>Figura 4.13:</b> Ensaios realizados com o Permeâmetro de Guelph. ....	33
<b>Figura 4.14:</b> Preparação das amostras de solo para as análises laboratoriais. ....	34
<b>Figura 4.15:</b> Procedimento para análise de estabilidade de agregados via úmida: (a) umedecimento das amostras por capilaridade (b) tamisamento das amostras no aparelho de Yoder (c) amostras transferidas das peneiras para cadinhos (d) secagem das amostras na estufa. ....	36
<b>Figura 4.16:</b> Procedimento para análise de estabilidade de agregados via seca: (a) peneiramento da amostra em agitador orbital de batida intermitente (b) transferência da amostra para folha de jornal (c) transferência da amostra para cadinho de porcelana (d) pesagem em balança digital. ....	37
<b>Figura 4.17:</b> Procedimento para análise textura: (a) pesagem de amostra de 10 g (b) adição de 10 ml de hidróxido de sódio (c) agitação da solução (d) transferência da solução para proveta (e) transferência da amostra para cápsula de alumínio (f) lavagem da areia. ....	39

<b>Figura 4.18:</b> Procedimento para determinação da porosidade: (a) mesa de tensão (b) saturação dos anéis em bandeja com água (c) sucção dos anéis na mesa de tensão (d) secagem das amostras em estufa. ....	40
<b>Figura 4.19:</b> Procedimento para determinação de COT: (a) pesagem de 40 mg de TFSE (b) introdução da amostra no forno (c) remoção da amostra após a leitura. ....	42
<b>Figura 5.1:</b> Distribuição das áreas degradadas levantadas na sub-bacia do ribeirão José Pereira. ....	45
<b>Figura 5.2:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D1. ....	51
<b>Figura 5.3:</b> Erosão em sulcos associada à erosão laminar em pastagem, área degradada D2. ....	51
<b>Figura 5.4:</b> Voçoroca em área de pastagem, área degradada D3. ....	52
<b>Figura 5.5:</b> Deslocamento de massa em encosta, área degradada D4. ....	53
<b>Figura 5.6:</b> Deslocamento de massa em encosta, área degradada D5. ....	53
<b>Figura 5.7:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D6. ....	54
<b>Figura 5.8:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D7. ....	55
<b>Figura 5.9:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D8. ....	55
<b>Figura 5.10:</b> Deslocamento de massa em processo de estabilização, área degradada D9. ....	56
<b>Figura 5.11:</b> Deslocamento de massa em talude artificial, área degradada D10. ....	56
<b>Figura 5.12:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D11. ....	57
<b>Figura 5.13:</b> Deslocamento de massa em encosta, área degradada D12. ....	57
<b>Figura 5.14:</b> Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D13. ....	58
<b>Figura 5.15:</b> Deslocamento de massa em área de pastagem, área degradada D14. ....	58
<b>Figura 5.16:</b> Deslocamento de massa em encosta, área degradada D15. ....	59
<b>Figura 5.17:</b> Erosão laminar, área degradada D16. ....	59
<b>Figura 5.18:</b> Deslocamento de massa em encosta, área degradada D17. ....	60
<b>Figura 5.19:</b> Erosão em sulcos em área de empréstimo abandonada, área degradada D18. ....	61
<b>Figura 5.20:</b> Deslocamento de massa em talude de corte, área degradada D19. ....	61
<b>Figura 5.21:</b> Deslocamento de massa em talude, área degradada D20. ....	62
<b>Figura 5.22:</b> Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira. ....	70
<b>Figura 5.23:</b> Classificação da Capacidade de Uso da Terra na sub-bacia do ribeirão José Pereira. ....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1:</b> Base de dados utilizadas para elaboração dos mapas temáticos. ....	43
<b>Tabela 5.1:</b> Dados característicos das áreas degradadas levantadas no estudo. ....	46
<b>Tabela 5.2:</b> Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como deslocamentos de massa. ....	64
<b>Tabela 5.3:</b> Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como erosão laminar, erosão em sulcos e voçoroca. ....	69
<b>Tabela 5.4:</b> Quantificação das formas de uso do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira. ....	71
<b>Tabela 5.5:</b> Grupo, classe e subclasse de Capacidade de Uso na sub-bacia do ribeirão José Pereira. ....	73
<b>Tabela 5.6:</b> Relação do uso e ocupação do solo com a capacidade de uso da sub-bacia. ....	75

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo Geral .....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
3.1. Degradação Ambiental.....	4
3.2. Degradação do Solo pela Erosão .....	6
3.3. Deslocamentos de Massa .....	13
3.4. Capacidade de Uso das Terras.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
4.1. Caracterização da Área de Estudo .....	19
4.2. Campanha de Campo .....	29
4.3. Análises Laboratoriais.....	33
4.4. Trabalho de Escritório.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1. Caracterização Geral das Áreas Degradadas.....	45
5.2. Descrição das Áreas Degradadas.....	50
5.3. Atributos Físicos e Químicos .....	62
5.4. Uso e Ocupação x Capacidade de Uso da Terra.....	70
6. CONCLUSÃO .....	76
ANEXO I .....	86
ANEXO II .....	87
APÊNDICE I .....	88
APÊNDICE II .....	89

## 1. INTRODUÇÃO

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira está nos domínios do município de Itajubá, sul de Minas Gerais. Trata-se de uma área de significativa importância, pois representa aproximadamente 14% do território municipal, possui caráter urbano-rural, abrange a Reserva Biológica (REBIO) Serra dos Toledos (importante remanescente da Mata Atlântica na região) e se encontra em processo de expansão urbana.

A ocupação da sub-bacia ocorreu de forma desordenada, criando um mosaico de diferentes paisagens e feições, representadas, hoje, pela urbanização na parte mais baixa e intensivo uso pecuário nas porções média e alta. Tais fatores de pressão antrópica, aliados às características topográficas do relevo forte ondulado e à susceptibilidade natural dos solos, favoreceram a instalação de processos erosivos, principais formas de degradação do solo.

Quando o processo de uso, ocupação e manejo do solo vem desacompanhado de práticas conservacionistas e medidas mitigadoras de impactos ambientais, há a intensificação dos processos erosivos que provocam a perda de solo fértil e transporte, pelo fluxo de água, de defensivos, nutrientes e sedimentos, contribuindo para o avanço no estágio de degradação dos recursos naturais.

As formas de erosão hídrica estabelecidas na área, notadamente os deslocamentos de massa, são desencadeadas pela interação de diferentes fatores endógenos, como tipo de solo, estrutura geológica e morfologia do terreno, e fatores exógenos, como variáveis climáticas e formas de uso da terra. Em áreas ocupadas, as intervenções antrópicas relacionadas à eliminação da cobertura vegetal, cortes desestabilizadores, lançamentos de lixo e de água não controlados, atuam decisivamente na deflagração das erosões hídricas (CERRI e AMARAL, 1998).

A degradação do solo pela erosão hídrica propicia inúmeros impactos ao meio físico, biótico, social e econômico. Além das notórias implicações às terras agrícolas, relacionadas às perdas de camada fértil e nutrientes. Há, ainda, o transporte de sedimentos aos recursos hídricos, causando o decréscimo da qualidade das águas e assoreamento de rios e reservatórios.

A heterogeneidade de características e peculiaridades da sub-bacia do ribeirão José Pereira têm feito com que essa área seja objeto de diversos estudos, dentre os quais destacam-se os trabalhos de Maia (2003), Primo (2004), Oliveira, Ferreira e Paes (2006), Luz (2008) e Mota (2010). Grande parte desses estudos são do campo da hidrologia, havendo carência de

pesquisas relacionadas à degradação do solo e suas relações com os fatores de pressão existentes na área.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi produzir informações acerca dos processos de degradação do solo pela erosão hídrica, por meio do diagnóstico de campo de algumas áreas, análise de atributos físicos e químicos e levantamento da capacidade de uso da terra. Acredita-se que essa abordagem venha contribuir na compreensão dos fatores de degradação do solo e dos impactos a esses associados, auxiliando no planejamento do uso e manejo do solo e do ambiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O estudo tem como objetivo o diagnóstico da degradação do solo pela erosão hídrica e o levantamento da capacidade de uso da terra na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira, município de Itajubá, MG.

### **2.2. Objetivos Específicos**

A fim de atingir o objetivo geral do estudo, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as áreas degradadas pela erosão hídrica;
- Verificar os fatores causadores da degradação;
- Caracterizar as áreas degradadas, por meio da determinação de seis atributos físicos (densidade aparente, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica saturada) e químico (carbono total);
- Diagnosticar o uso, ocupação e manejo atual na sub-bacia do ribeirão José Pereira;
- Levantar a capacidade de uso das terras inseridas na sub-bacia de estudo.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Degradação Ambiental**

Desde que o ambiente se tornou alvo de preocupação mundial, diversos autores conceituaram e estudaram a degradação ambiental (HARRIS, BIRCH e PALMER, 1996; JOHNSON, AMBROSE, *et al.*, 1997; GUERRA, 1998; LIMA e RONCAGLIO, 2001; FERNANDES, CUNHA e SILVA, 2005). No Brasil, uma das definições mais utilizadas, considera a degradação como o conjunto de processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais (BRASIL, 1989).

De acordo com Waquil, Finco e Mattos (2004), a busca pela preservação dos recursos naturais estimulou o desenvolvimento de pesquisas voltadas à identificação das principais causas, dos causadores e das principais consequências da degradação do ambiente, assim como, pesquisas voltadas à busca de alternativas para a resolução dos problemas trazidos pela degradação. No entanto, é amplamente reconhecido que a interferência do homem no ambiente, representada pelas diversas formas de uso e ocupação, é o principal fator de deterioração e desequilíbrio ambiental.

Ao longo da evolução histórica, o homem desenvolveu grande capacidade de apropriação e transformação da natureza, a fim de satisfazer suas necessidades. Entretanto, essas alterações ambientais, frutos de determinados momentos históricos, deixaram de considerar inúmeras funções básicas dos ecossistemas, onde foram e são executadas, comprometendo, assim, o ambiente (CARVALHO e NETO, 2011).

Meneguzzo (2006) afirma que todas as sociedades causam algum tipo de degradação, não importando sua condição socioeconômica, seu modo de produção, bem como o local onde se situam, ou seja, tanto no meio urbano quanto no rural, a degradação existe conforme o tipo e a intensidade das atividades realizadas.

O uso não planejado das terras, as ocupações residenciais em áreas de risco, a adoção de sistemas importados de cultivo, o descarte de efluentes industriais e domésticos não tratados e o desmatamento em áreas de recarga e de proteção, são algumas das muitas atividades que contribuem para a contínua degradação ambiental (SERATO e RODRIGUES, 2010; FREITAS, MANZATTO e COUTINHO, 2001).

Dessa forma, a degradação está fortemente relacionada a fatores de uso e ocupação, que determinam os tipos e graus dos impactos, os quais atingem, de maneira diferenciada, o solo, o ar e a água (SOUZA, 2003).

O caráter multifuncional do solo que desempenha funções de natureza ecológica (como meio suporte de biomassa, regulador ambiental, reserva de biodiversidade, dentre outros), socioeconômica (como suporte de infraestrutura e estoque de matéria-prima) e cultural (patrimônio arqueológico), faz com que esse compartimento seja o mais atingido pela degradação.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), se destacou ao enfatizar os problemas associados aos recursos da terra e, por meio do documento Agenda 21, considerou a degradação do solo o mais grave problema ambiental (CARVALHO, 2008; IBAMA, PNUMA e UMA, 2004). Araujo, Almeida e Guerra (2005) compartilham essa afirmação, pois, segundo esses autores, a degradação das condições do solo não é facilmente reversível, uma vez que os processos de formação e regeneração são muito mais lentos.

### 3.1.1. Degradação do Solo

Considerando a conceituação de Houghton e Charman (1986), FAO (1980) e ABNT (1989), pode-se definir a degradação do solo como a alteração adversa de aspectos físicos, químicos e/ou microbiológicos que comprometem, parcial ou integralmente, seus diversos usos, quer sejam eles potenciais ou estabelecidos em planejamento.

Os fatores causadores da degradação dos solos são diversos, podendo atuar de maneira direta ou indireta. No entanto, o processo de degradação se inicia com o desmatamento, seguido por diversas formas de ocupação desordenada, tais como: corte de taludes (para construção de casas, ferrovias e rodovias), agricultura mal manejada (com uso de queimadas e irrigação excessiva), superpastoreio, mineração, despejos industriais e domésticos, entre outros (GUERRA e JORGE, 2012). Essas intervenções antrópicas sobre os solos têm culminado com uma série de impactos ambientais, como empobrecimento dos solos quanto à fertilidade natural, contaminação de aquíferos, comprometimento da flora e fauna aquática, assoreamento de cursos d'água, redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios, entre outros (FARLEY, JOBBABY e JACKSON, 2005). Tais impactos, além de afetarem as áreas onde a degradação do solo está ocorrendo, repercutem, também, a vários quilômetros de distância (GUERRA e JORGE, 2012).

De maneira geral, a degradação dos solos abrange uma série de processos complexos, que incluem a erosão, tanto a hídrica quanto a eólica, a expansão das condições ligadas aos desertos, denominada de desertificação, os movimentos de massa, a contaminação dos solos, especialmente, a acidificação e salinização (FULLEN e CATT, 2004 apud GUERRA e JORGE, 2012).

Segundo IBAMA, PNUMA e UMA (2004), a erosão do solo é um fator importante na degradação da terra e causa efeitos sérios sobre as funções do solo, tais como sua capacidade de atuar como amortecedor e filtro de poluentes, seu papel no ciclo da água e do nitrogênio e sua capacidade de providenciar habitat e sustentar a biodiversidade.

### **3.2. Degradação do Solo pela Erosão**

O conceito de erosão está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno, por meio do desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, tendo como principais agentes o vento (erosão eólica) e a água (erosão hídrica). Quando ocorre dentro das condições naturais do ambiente, de maneira gradual e lenta, é denominada de erosão geológica ou normal, que condiciona a formação das estruturas do relevo da superfície da Terra. Todavia, quando o homem atua como agente acelerador, por meio de práticas que desequilibram as condições naturais, há a remoção de grande massa de material em um curto período de tempo. Nesse caso, a erosão é denominada de acelerada (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; VALLE JÚNIOR, 2008; BIGARELLA, 2007).

A erosão acelerada e, conseqüentemente, o desgaste do solo, são assuntos de grande preocupação mundial, em razão da rapidez com que se processam e por acarretarem enormes prejuízos de ordem física, financeira e social (AMORIM, SILVA, *et al.*, 2010; OLIVEIRA, PINTO, *et al.*, 2010).

Dentre as diversas formas de erosão, aquela causada pela água é a mais comum, de maior distribuição territorial no Brasil e no mundo (HASSET e BANWART, 1992 apud GUERRA e JORGE, 2012) e considerada por Cogo, Levien e Schwarz (2003), como a forma mais prejudicial de degradação do solo.

No Brasil, a erosão hídrica é o principal fator capaz de tornar insustentáveis os sistemas de produção agrícola e, os impactos ambientais dela oriundos, têm reflexos no aumento dos custos, causando, anualmente, um prejuízo econômico enorme ao país (HERNANI, FREITAS, *et al.*, 2002). Em um estudo sobre os custos gerados pela erosão dos

solos, Telles (2010) menciona que no Brasil as perdas com esse processo chegam a 30 milhões de dólares ao ano.

Barreto, Barros e Sparovek (2008) investigaram a pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo, por meio da análise de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, no período de 1949 a 2007. Os autores verificaram estado de arte recente da pesquisa brasileira no tema, pois, embora os primeiros trabalhos tenham origem no final da década de 40, aproximadamente metade da produção científica foi publicada a partir de 1990. Destacam-se, ainda, a centralização da produção científica nas regiões Sul e Sudeste, predominância do enfoque da erosão a partir de uma perspectiva agrícola e grande ênfase na pesquisa dos fatores do modelo *Universal Soil Loss Equation* (USLE) e de estimativa de erosão (BARRETO, BARROS e SPAROVEK, 2008).

### 3.2.1. Erosão Hídrica

A erosão hídrica é um processo originado pela ação da água da chuva, em que as forças de escoamento superficial e subsuperficial são capazes de proceder ao arranque e arraste das partículas do solo (ZUQUETTE, CARVALHO e YAMANOUTH, 2007).

O processo se inicia com o impacto das gotas de chuva sobre o solo desnudo que, por meio da quebra dos agregados, causa o desprendimento das partículas e o transporte por salpicamento. Quando o solo tem sua capacidade de infiltração reduzida e torna-se saturado, a água começa a escorrer pela superfície do terreno, dando origem ao escoamento superficial que, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), é o maior agente de transporte de partículas no solo. A concentração das linhas de fluxo do escoamento superficial resulta em incisões na superfície do terreno, na forma de sulcos, ravinas e voçorocas (OLIVEIRA, 1998).

Fundamentalmente, o processo de erosão hídrica é condicionado por cinco fatores: chuva, solo, cobertura e manejo, topografia e práticas conservacionistas (HUDSON, 1977; apud COGO, LEVIEN e SCHWARZ, 2003). A combinação desses fatores determina a intensidade e as variações nas taxas de perda de solo (CUNHA e GUERRA, 2006; SCHICK, BERTOL, *et al.*, 2000).

Segundo Telles, Guimarães e Dechen (2011), em 1965, com base em um grande volume de pesquisas e informações sobre os fatores condicionantes da erosão, Wischmeier e Smith desenvolveram a *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Considerada um grande marco para o desenvolvimento da conservação do solo e da água, possibilitou e impulsionou a

pesquisa e o controle da erosão do solo em várias partes do mundo (WISCHMEIER e SMITH, 1978 apud TELLES, GUIMARÃES e DECHEN, 2011).

### 3.2.1.1. Fatores Controladores da Erosão

#### a) Chuva

A chuva tem papel ativo na erosão do solo, uma vez que é a fonte de energia para todo o processo (PEREIRA, 1977; apud BOARETT, SOUZA e WRUCK, 1998) e, por isso, considerada por Bertoni e Lombardi Neto (1999) como um dos fatores climáticos de maior importância no processo erosivo.

A habilidade da chuva em causar erosão é denominada de erosividade (HUDSON, 1961 apud GUERRA, 1998), determinada por características físicas da chuva, como duração, quantidade, intensidade, frequência, dimensão das gotas, dentre outros. No entanto, a intensidade e a duração são particularmente importantes no potencial erosivo da chuva (HUDSON, 1973 apud BOARETT, SOUZA e WRUCK, 1998; ZUQUETTE, CARVALHO e YAMANOUTH, 2007). De acordo com Lombardi e Neto (1999), quanto maior a intensidade e a duração da chuva, maior o volume e a velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, maior a perda de solo.

Na USLE, a erosividade da chuva é representada pelo fator “R”, o qual é estimado pelo Índice de Erosividade Padrão ( $EI_{30}$ ). Esse índice é produto da energia cinética com que a gota de chuva atinge o solo ( $E$ , MJ  $ha^{-1}$ ) pela intensidade máxima da chuva com base em um período contínuo de 30 minutos ( $I_{30}$ , mm  $h^{-1}$ ) (SILVA, SILVA, *et al.*, 2010; MAZURANA, CASSOL, *et al.*, 2009; CASSOL, ELTZ, *et al.*, 2008).

No Brasil, o parâmetro  $EI_{30}$  tem sido amplamente estudado e utilizado, dado que diversos pesquisadores têm obtido correlação significativa entre esse índice e as perdas de solo (ALMEIDA, AMORIM, *et al.*, 2012; SILVA, SILVA, *et al.*, 2005; SILVA, FREITAS, *et al.*, 1997). Estudos sobre o potencial erosivo da chuva, desenvolvidos recentemente em algumas cidades brasileiras, destacam índices de erosividade ( $EI_{30}$ ), em MJ  $mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ : para Santa Rosa (RS), na ordem de 11.217 (MAZURANA, CASSOL, *et al.*, 2009), para Rio Grande (RS), 5.135 (BAZZANO, ELTZ e CASSOL, 2010), para São Borja (RS), 9.751 (CASSOL, ELTZ, *et al.*, 2008), para Lavras (MG), 4.865 (SILVA, SILVA, *et al.*, 2009), para Cuiabá (MT), 8.810 (ALMEIDA, AMORIM, *et al.*, 2011), para quatro cidades de Mato

Grosso do Sul, amplitude de 6.827 a 15.414 (ALMEIDA, AMORIM, *et al.*, 2012), para o Estado de Minas Gerais, o índice varia entre 5.000 e 12.000 (MELLO, SÁ, *et al.*, 2007) e para o Vale do Rio Doce (MG), amplitude de 7.970 a 18.646 (SILVA, SILVA, *et al.*, 2010). Os resultados dessas pesquisas corroboram o estudo desenvolvido por Silva (2004), no qual mostrou que a erosividade no Brasil varia de 3.116 a 20.035 mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

O conhecimento da erosividade da chuva é de grande importância no planejamento do uso da terra, pois permite identificar os meses nos quais o risco de erosão é mais elevado (WISCHMEIER e SMITH, 1978; apud SILVA, SILVA, *et al.*, 2009).

#### b) Solo

A resistência do solo em ser removido e transportado foi definida por Morgan (1986 apud GUERRA, 1998) como erodibilidade, um atributo intrínseco de cada solo e fundamental para a estimativa de perdas e para o planejamento de uso da terra.

Para Toy, Foster e Renard (2002), a erodibilidade do solo é resultado do efeito integrado das características físicas de textura, estrutura, agregação e porosidade. Essas propriedades, associadas à atributos químicos e biológicos, tipificam o comportamento de cada solo, exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), os solos ricos em silte são facilmente erodíveis, uma vez que suas partículas possuem pequena adesão entre si e, quando há quebra dos agregados, pelo impacto das gotas de chuva, são facilmente transportados pela água. Para Toy, Foster e Renard (2002), os solos arenosos, apesar de muito permeáveis, também apresentam erodibilidade alta, em razão do pequeno teor de matéria orgânica e argila, responsáveis pela agregação. Durante um episódio de chuva, os agregados desses solos são quebrados com facilidade e o escoamento superficial pode ocasionar grande perda de solo devido à baixa coerência entre as partículas.

De acordo com Sá, Lima, *et al.* (2000), a estabilidade de agregados é o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo, pois influencia a infiltração, a retenção de água, a aeração, a resistência à penetração de raízes, o selamento e o encrostamento superficial.

Na USLE, a erodibilidade do solo é representada pelo fator “K”, que desperta maior interesse nas pesquisas de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, que podem variar de acordo com a classe de solo e com o tipo de manejo (SILVA, CURI, *et al.*,

2000 a). De acordo com Silva, Curi, *et al.* (2000 b), existem basicamente, três maneiras de determinar a erodibilidade do solo. A primeira envolve a determinação direta do fator “K” em condições de campo, sob chuva natural. A segunda é semelhante a primeira, porém, sob condições de chuva simulada. A terceira, a mais utilizada, é uma determinação indireta, baseada em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos ou relações destes.

A determinação direta da erodibilidade é complexa, devido às inúmeras variáveis envolvidas, a morosidade e os custos dos procedimentos experimentais, o que tem influenciado no pequeno número de estudos envolvendo a erodibilidade de solos brasileiros (SUMMERFIELD, 1991 apud SOUZA e GASPARETTO, 2010; SILVA, SILVA, *et al.*, 2009; MANNIGEL, CARVALHO, *et al.*, 2002).

### c) Topografia

A declividade do terreno, o comprimento de rampa e a forma da encosta, constituem os principais fatores topográficos que regulam o processo erosivo (SANTOS, BAYER e CARVALHO, 2008; ARAUJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005).

A velocidade do escoamento superficial, resultante da interação entre declividade e comprimento da encosta, influencia no tamanho e na quantidade do material em suspensão transportado pela água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Em baixas declividades, a velocidade do escoamento é pequena, tendo o solo mais tempo para absorvê-lo. Por outro lado, em altas declividades a velocidade do escoamento é maior, assim como seu volume, e conseqüentemente, a erosão (SANTOS, BAYER e CARVALHO, 2008).

A forma da encosta determina as diferentes trajetórias do escoamento superficial, fundamental para o entendimento e quantificação da erosão (SANCHEZ, JUNIOR, *et al.*, 2009). Os autores, em um estudo de erosão do solo em plantios de cana-de-açúcar no município de Catanduva/SP, verificaram que as maiores perdas de solo e potencial natural de erosão ocorreram em pedoforma convexa, indicando forte dependência dos processos erosivos com a forma do relevo.

De acordo com Resende, Curi, *et al.*, (2007), a pedoforma côncava favorece a convergência das águas, levando a uma erosão mais localizada com tendência a formação de voçorocas e sulcos e deposição de material nas partes mais baixas, enquanto a pedoforma convexa favorece a divergência de águas com erosão mais uniforme e laminar.

#### d) Cobertura e Manejo

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). A vegetação protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, em virtude da interceptação e dissipação da energia cinética das gotas, diminuindo a desagregação do solo e o selamento superficial. O aporte de matéria orgânica contribui na agregação e conseqüente melhoria da estrutura do solo, aumentando a infiltração e a capacidade de retenção de água. Além disso, a vegetação aumenta o atrito na superfície, diminuindo a capacidade erosiva do escoamento superficial, por meio da redução da velocidade (COGO, LEVIEN e SCHWARZ, 2003; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

De acordo com Oliveira *et al.* (2012), os locais com vegetação densa possuem reduzida erosão hídrica, pois o solo, protegido do impacto da chuva, aumenta a infiltração de água e diminui a concentração e o escoamento de água sobre a superfície e, também, mantém a matéria orgânica que proporciona maior agregação do solo.

#### 3.2.1.2. Tipos de Erosão Hídrica

De acordo com Santos, Bayer e Carvalho (2008), há dois grandes tipos de erosão, a laminar, produto do escoamento superficial difuso, e a linear, produto do escoamento superficial concentrado (em linhas e eixos) que promove a formação de sulcos e voçorocas.

##### a) Erosão Laminar (Erosão entre Sulcos)

A erosão laminar é a remoção de camadas delgadas do solo, por meio de filetes e lâminas d'água difusos que serpenteiam sobre a superfície do terreno sem formar canais, mas capazes de remover quantidades significativas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; SANTOS, BAYER e CARVALHO, 2008). É a forma de erosão menos notada, contudo a mais perigosa, devido seus efeitos sobre a fertilidade do solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), esse tipo de erosão arrasta primeiro as partículas mais leves e, considerando que a parte mais ativa e de maior valor do solo é integrada pelas partículas menores, o efeito sobre a fertilidade é expressivo.

#### b) Erosão em Sulcos

A erosão em sulcos constitui a segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo que é marcada pela mudança da forma de escoamento. De difuso, sobre a superfície do solo na fase inicial da erosão entre sulcos, tal processo se concentra, na segunda fase, em pequenas depressões da superfície do solo chamadas de sulcos de erosão. Quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento da espessura, elevando, portanto, a capacidade do escoamento em desagregar o solo (LAFAYETTE, CANTALICE e COUTINHO, 2011).

#### c) Deslocamentos de Massa

Os deslocamentos de massa geralmente se processam nos sulcos deixados pela enxurrada que são, em geral, tortuosos. A corrente de água atrita fortemente com as margens sinuosas, provocando desmoronamentos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). É muito comum em terrenos arenosos e em solos menos estruturados.

Segundo Silva e Lima, a essa forma de erosão são atribuídos os desmoronamentos de aterros, estradas e os bruscos desabamentos, resultantes da erosão subterrânea, que formam grandes galerias e culminam com desabamentos. Algumas voçorocas podem ter origem nessa forma de erosão.

#### d) Voçorocas

As voçorocas são feições erosivas típicas de regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil, gerando um grande problema ambiental associado à degradação do solo (ZUQUETTE, CARVALHO e YAMANOUTH, 2007). Essas feições erosivas são ocasionadas por grandes volumes de escoamento superficial concentrado que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando pelo deslocamento de grandes massas de solo e formando grandes cavidades em extensão e profundidade (ARAUJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

De acordo com Zuquette, Carvalho e Yamanouth (2007), as voçorocas constituem, provavelmente, a principal forma de erosão em bacias hidrográficas. Geralmente, são desenvolvidas em áreas rurais, sobretudo, em pastagens, em solos de culturas com má

cobertura, sujeitos ao manejo inadequado e em estradas não pavimentadas, implantadas com ausência de projeto adequado.

Ferreira, Silva *et al.* (2011) verificaram que 66% das voçorocas presentes na Mesorregião de Campo das Vertentes/MG, tiveram sua origem relacionada as estradas antigas. Situação semelhante foi constatada por Teixeira e Romão (2009) e Netto e Sobreira (2006), em estudo de erosões lineares, na bacia do ribeirão Extrema (Anápolis/GO) e ribeirão Carioca (Itabirito/MG), respectivamente. Segundo esse autores, o sistema de arruamento e os divisores de propriedades (cercas, muros, valas, etc.) alteram as condições naturais de infiltração e escoamento superficial, condicionando a concentração de fluxo em linhas preferenciais, desencadeando os processos erosivos e a perda de solo.

### **3.3. Deslocamentos de Massa**

Os deslocamentos de massa são definidos como todo movimento coletivo de solo e rocha (GUIDICINI e NIEBLE, 1984 apud OLIVEIRA, CARVALHO e NETO, 2010). Esses processos, diferentemente da erosão laminar, em sulcos e voçorocas, são caracterizados pelo movimento gravitacional de material, descendente e para fora da encosta (CROZIER, 1986; apud FERNANDES, GUIMARÃES, *et al.*, 2001).

De acordo com Fernandes e Amaral (1996), os deslocamentos de massa são, assim como os processos de intemperismo, fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa que modelam a paisagem da superfície terrestre. No entanto, esses processos também têm sido induzidos por ações antrópicas como cortes para implantação de moradias e estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, disposição inadequada de resíduos sólidos e águas servidas, dentre outros. Assim, têm impacto direto no uso da terra e podem, em casos extremos, constituir riscos à vida humana e às construções (GUERRA e JORGE, 2012).

Os deslocamentos de massa são condicionados por complexas interações entre diferentes fatores endógenos, tais como estrutura geológica, tipo de solo e morfologia do terreno (declividade, tipo de modelado e forma das encostas) e fatores exógenos, como variáveis climáticas (volume e frequência das precipitações) e formas de uso da terra (FERNANDES, GUIMARÃES, *et al.*, 2001; DIAS e HERRMANN, 2002; BISPO, ALMEIDA, *et al.*, 2011).

De acordo com Cerri e Amaral (1998), as principais condições predisponentes para os deslocamentos de massa são encostas com inclinação elevada, depósitos de tálus e coluviões, concentração do escoamento de águas superficiais e subsuperficiais e pluviometria

média anual elevada, enquanto que as intervenções antrópicas desencadeadoras podem estar relacionadas à eliminação da cobertura vegetal, cortes desestabilizadores e lançamento de lixo e de água não controlados.

Apesar do desencadeamento dos deslocamentos ser função de uma complexa relação entre diversos condicionantes naturais, em países tropicais como o Brasil, a chuva é o principal mecanismo deflagrador (GUERRA, GONÇALVES e LOPES, 2007; DIAS e HERRMANN, 2002). Os grandes acidentes ocorridos em território nacional estão associados a episódios de chuvas de forte intensidade, ou de períodos prolongados, geralmente concentrados em alguns meses (GUERRA, GONÇALVES e LOPES, 2007; OGURA e MACEDO, 2002).

De acordo com Dias e Herrmann (2002), um episódio de chuva intensa e prolongada favorece a elevação do grau de saturação dos solos, provocando a redução da resistência ao cisalhamento, especialmente as parcelas de resistência relacionadas às tensões capilares. Para Bigarella (2007), o excesso de água no subsolo afeta os materiais coloidais que, ao invés de conferirem resistência ao solo, tendem a sua “liquefação”. A superfície impermeável ou de cisalhamento torna-se “lubrificada”, facultando o deslocamento.

A quantidade e a intensidade da precipitação são variáveis importantes nos processos de deslocamento, na medida em que influenciam no modo como a água da chuva infiltra no solo, alterando sua resistência (IDE, 2005).

Coutinho (2002) verificou que a precipitação foi um fator importante na deflagração de deslocamentos de massa ocorridos, no período de 1990 a 1999, no Morro do Artur (Blumenau/SC). Segundo o autor, dos 16 deslocamentos registrados, seis ocorreram com um índice de precipitação superior a 50 mm/dia, chuva considerada intensa para a região. Já para a cidade de Campinas/SP há maior probabilidade de deslocamentos, em áreas de rochas cristalinas, a partir de um índice pluviométrico de 78,0 mm acumulados em 7 dias, como verificou Ide (2005) no estudo de deslocamentos de massa ocorridos entre 1997 e 2004.

Castro, Sobreira, *et al.* (2012) também encontraram correlação da precipitação com deslocamentos de massa no município de Ouro Preto/MG, no período de 1988 a 2004. De acordo com os autores, o índice pluviométrico de 22,0 mm acumulados em 5 dias, provoca a saturação do solo, favorecendo a ruptura. Para valores superiores a 128,0 mm/5dias a probabilidade de eventos mais severos aumenta. Por outro lado, Carvajal (2011), em estudo de deslocamentos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro entre 1998 e 2002, verificou menor incidência desse processo com o acúmulo de chuvas. Para o autor, as características próprias

de cada região, como declividade, geologia, uso do solo e hipsometria imprimem a maneira como o local irá suportar a sollicitação imposta pela precipitação.

No entanto, nem toda chuva intensa é a única responsável pelos deslocamentos, que podem ser provocados também por baixa capacidade de retenção de água do solo, topografia e geomorfologia da região, ocupação irregular do terreno e falta de vegetação (DIAS e HERRMANN, 2002)

Os parâmetros morfológicos do terreno controlam diretamente o equilíbrio das forças e, indiretamente, a dinâmica hidrológica dos solos (FERNANDES, GUIMARÃES, *et al.*, 2001). Santos e Vieira (2006) estudaram a influência dos parâmetros topográficos na distribuição de deslocamentos na Serra de Cubatão (SP). Os autores verificaram que 53% das 356 cicatrizes analisadas concentravam-se em formas convexas, e foram deflagradas, normalmente, no terço superior das encostas. No entanto, é conhecido que as formas côncavas são mais susceptíveis à rupturas, conforme constatado por Fernandes, Guimarães, *et al.* (2001), em estudo de deslocamentos de massa nas bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ).

As formas côncavas são áreas de concentração de água e elevação mais rápida das cargas de pressão durante as chuvas, sendo mais susceptíveis aos deslocamentos, uma vez que necessitam de menor volume de água para serem deflagrados. Já as formas convexas são divergentes e necessitam de uma carga elevada de chuva para aumentar sua instabilidade (RENEAU e DIETRICH, 1987 apud SANTOS e VIEIRA, 2006).

A declividade favorece o rápido deslocamento de massas de solo e blocos de rocha ao longo das encostas pelo efeito da gravidade. De acordo com Muñoz (2005), as declividades acima de 58% apresentam riscos de deslocamentos frequentes, informação corroborada no estudo de Santos e Vieira (2006) que mostrou que 51% dos escorregamentos na Serra do Mar concentraram-se na classe de declividade de 58 a 84%. Entretanto, nem sempre o maior número de deslocamentos ocorre nas áreas mais íngremes. Isto se deve a variações no tipo de cobertura vegetal e ao fato dos terrenos mais íngremes geralmente serem constituídos por afloramentos rochosos desprovidos de cobertura superficial (DIAS e HERRMANN, 2002).

As formas de uso da terra atuam decisivamente na deflagração de deslocamentos de massa, especialmente em áreas ocupadas. A retirada da vegetação contribui para rápida saturação do solo durante chuvas intensas. Segundo Lima e Bastos (2011), a remoção da vegetação expõe o solo à erosão, podendo promover, além do escoamento superficial, a infiltração excessiva de água nos planos de cisalhamento, provocando, por meio da lubrificação, a perda da coesão interna dos materiais e, conseqüentemente, deslocamentos de massa.

Castro, Neves, *et al.* (2010), em estudo de mapeamento das feições erosivas e cicatrizes de deslocamentos de massa na bacia do rio Sana (Macaé/RJ), verificaram que 35 das 40 feições levantadas estavam associadas a áreas desmatadas para pastagem.

Destacam-se, ainda, a abertura de ruas e caminhos seguindo a declividade das encostas contribui para concentração de fluxos d'água superficiais e subsuperficiais, gerando zonas de saturação propícias a ocorrência de deslocamentos.

### **3.4. Capacidade de Uso das Terras**

Em geral, os processos de degradação ambiental, especialmente a deterioração do solo, são consequências dos conflitos de uso da terra, por meio do estabelecimento de atividades que não respeitam a capacidade de uso do solo. Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a introdução, junto aos agricultores, de técnicas disponíveis e comprovadas de manejo e conservação do solo, constitui condição indispensável para minimizar o processo de degradação ambiental.

De acordo com Mendonça, Neto e Viégas (2006), é possível estabelecer alternativas de uso agrícola mais adequadas, garantindo a produção e o controle da erosão, por meio de metodologias orientadas para a avaliação das terras. Dentre essas metodologias, destaca-se, para fins conservacionistas, o Sistema de Capacidade de Uso, amplamente conhecido e divulgado no Brasil e em outros países tropicais (LEPSCH, 1991).

Originalmente, o Sistema de Capacidade de Uso das Terras foi desenvolvido por Klingebiel e Montgomery (1961) para o Serviço de Conservação do Solo dos EUA. Para eles era importante investigar, para cada tipo de solo, a sua localização, extensão e adequação aos diversos usos, a fim de planejar as formas de ocupação e identificar os efeitos do mau uso da terra (TELLES, GUIMARÃES e DECHEN, 2011). No Brasil, o sistema foi adaptado e divulgado por Lepsch (1983).

A capacidade de uso da terra é recomendada, primordialmente, para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, ao nível de propriedades, empresas agrícolas ou para pequenas bacias hidrográficas (LEPSCH, 1991).

Grande parte dos estudos recentes, realizados no país, envolvem a determinação da capacidade de uso em bacias hidrográficas de variadas dimensões, a fim de verificar a intensidade de uso da terra, por meio da análise de adequabilidade entre o uso atual e a capacidade de uso (RODRIGUES, ZIMBACK e PIROLI, 2001; FUJIHARA, 2002;

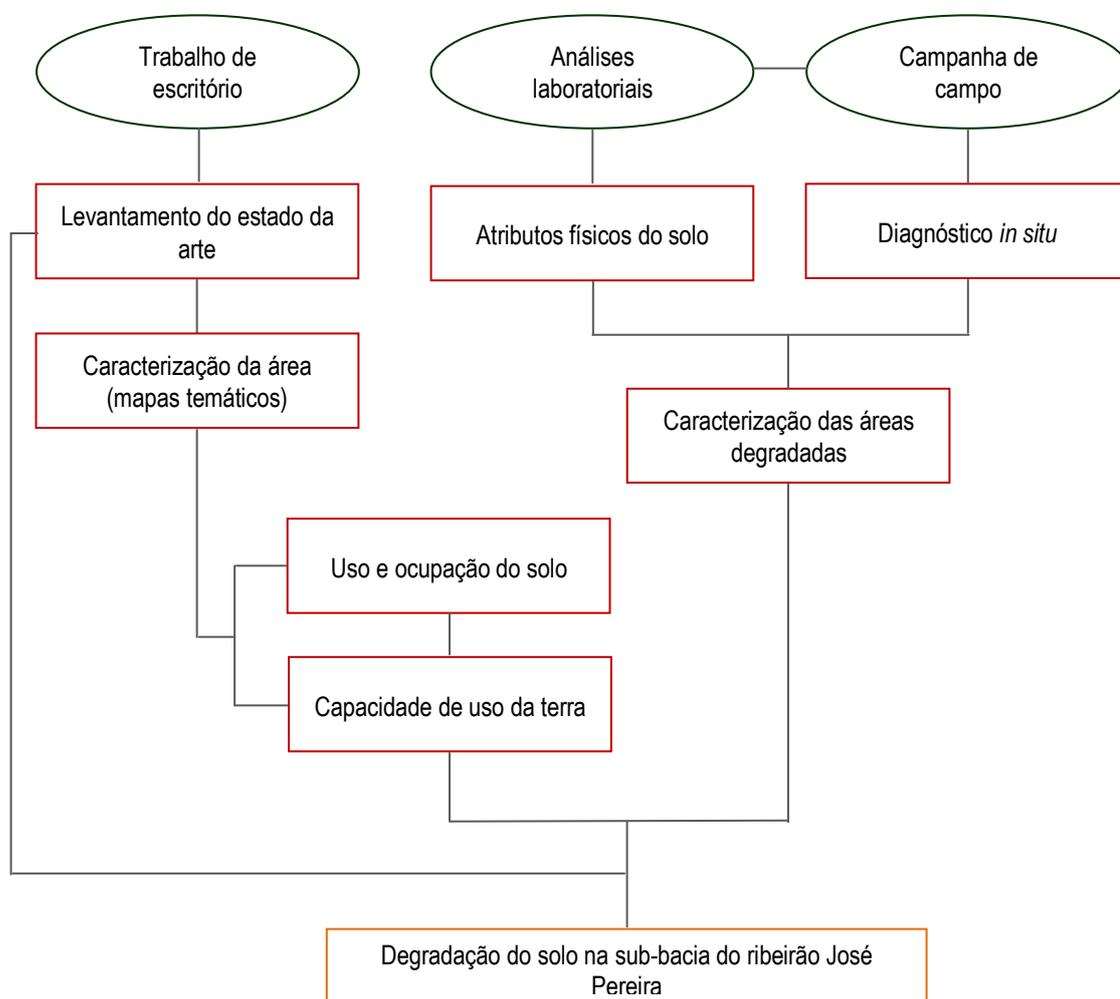
MENDONÇA, NETO e VIÉGAS, 2006; TOLEDO e BALLESTER, 2007; FERNANDES, MOREAU, *et al.*, 2010; CAMPOS, NARDINI, *et al.*, 2010).

Poucos são os estudos publicados que envolvem a análise de capacidade de uso especificamente para propriedades. Nesse contexto, destacam-se o trabalho de De Melo e Souto (2011), que associaram a capacidade de uso à degradação ambiental no Assentamento Patativa do Assaré, Estado de Pernambuco, e o estudo de Rampim, Tavares Filho, *et al.* (2012), que classificaram as terras de uma propriedade em Londrina-PR no sistema de capacidade, visando o aprimoramento da exploração conservacionista da área, por meio da adoção de técnicas adequadas de manejo.

Para Rodrigues, Zimback e Piroli (2001), a capacidade de uso é um importante subsídio para o planejamento, funcionando como uma ferramenta que imprime caráter seletivo, racionalizador e de orientação ao uso das terras. A manutenção da qualidade do solo, por meio de planejamento adequado de uso da terra, pode garantir ao agropecuarista alto retorno financeiro, além de proteger os recursos naturais da degradação, que é um fator, atualmente, essencial, frente ao desgaste em que se encontram muitos dos solos brasileiros (CAMPOS, NARDINI, *et al.*, 2010).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

As atividades desenvolvidas no estudo foram divididas em três etapas: (i) Campanha de campo, para o diagnóstico *in situ* das áreas degradadas, coleta de amostras de solo e ensaios de permeabilidade; (ii) Análises laboratoriais, para determinação de atributos físicos nas amostras de solo; (iii) Trabalho de escritório, para levantamento do estado da arte, elaboração de mapas temáticos, classificação da capacidade de uso da terra, análises e integração dos resultados (Figura 4.1).

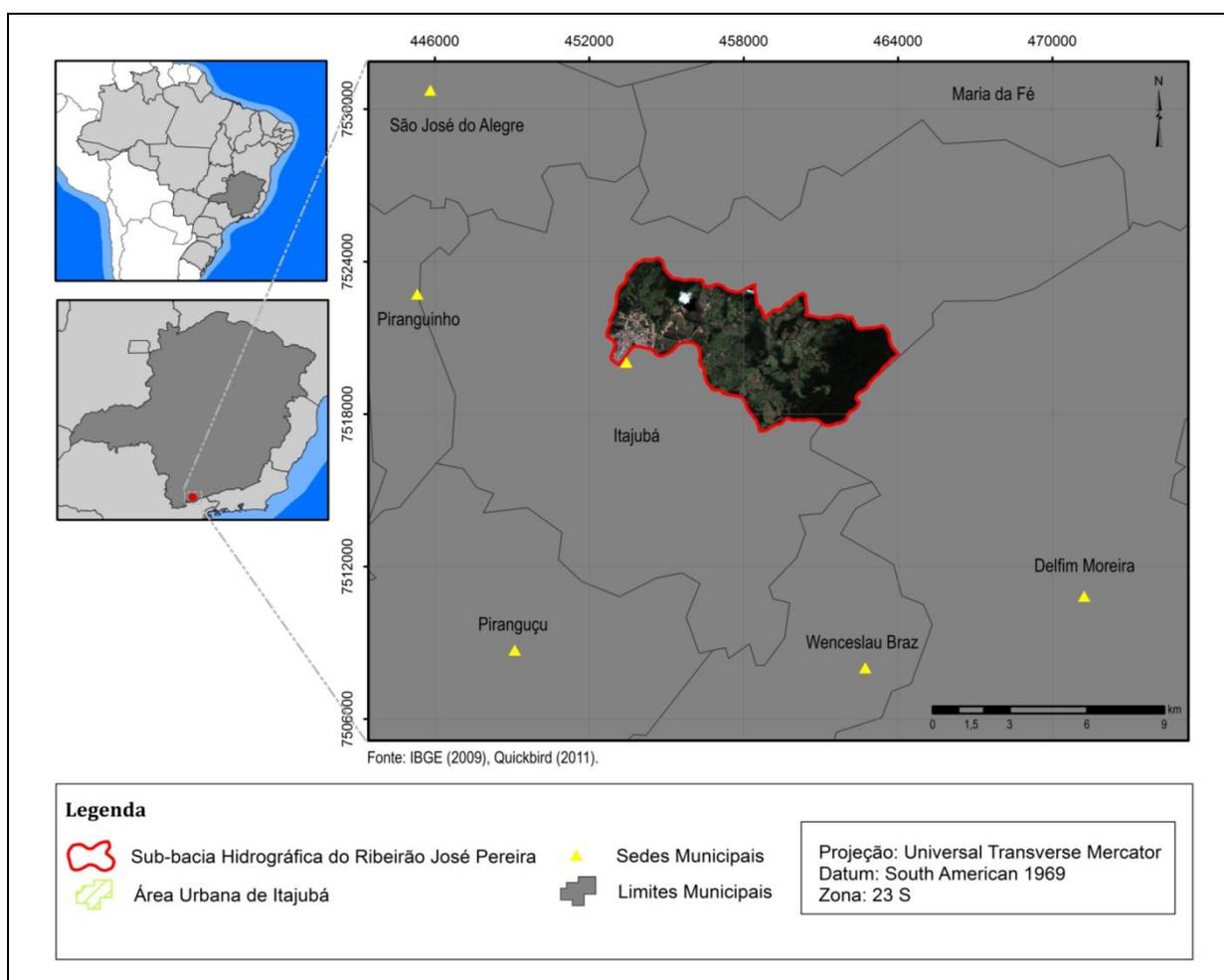


**Figura 4.1:** Fluxograma das principais etapas do estudo.

## 4.1. Caracterização da Área de Estudo

### 4.1.1. Localização

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira, situada entre as coordenadas planas 7524 km, 7516 km N e 452 km, 464 km E, está inserida integralmente no município de Itajubá, região sul do Estado de Minas Gerais (Figura 4.2). Com aproximadamente 40 km<sup>2</sup>, é delimitada ao sul, pela Serra da Pedra Amarela, a leste, pela Serra da Água Limpa, a norte, pelas serras do Juru e dos Toledos, e a oeste por pequenos divisores que a separam da bacia do rio Sapucaí.



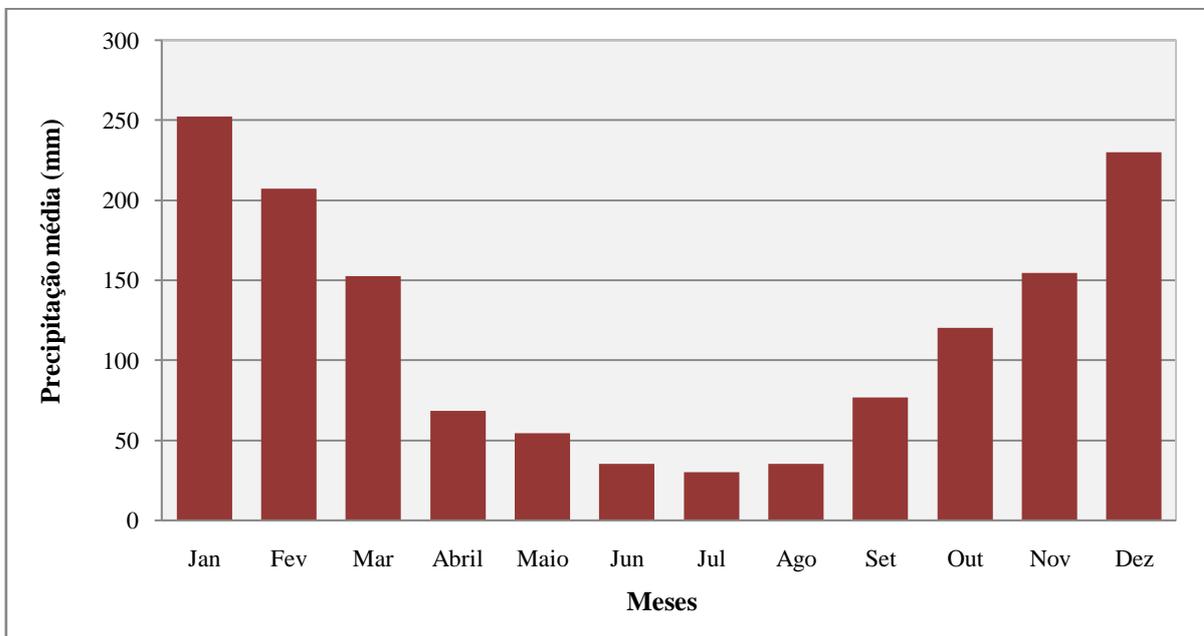
**Figura 4.2:** Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira em âmbito municipal.

O ribeirão José Pereira nasce na REBIO Serra dos Toledos, cruza os bairros urbanos Cruzeiro, Pinheirinho, BPS e Centro, e deságua no rio Sapucaí na área comercial do município.

#### 4.1.2. Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a sub-bacia do ribeirão José Pereira apresenta as duas variações do Clima Tropical de Altitude (CW), o tipo *Cwa*, predominante em grande parte da área, e *Cwb*, restrito a uma pequena porção noroeste da sub-bacia. O clima pode ser descrito como mesotérmico (C), na qual a temperatura média do mês mais frio está entre  $-3^{\circ}\text{C}$  e  $18^{\circ}\text{C}$ , com chuvas de verão (w) e verões quentes no tipo *Cwa* (mês mais quente com média igual ou superior a  $22^{\circ}\text{C}$ ), e brandos no tipo *Cwb* (média do mês mais quente inferior a  $22^{\circ}\text{C}$ ).

A série histórica (1941-2009) da Plataforma de Coleta de Dados da UNIFEI mostra que a precipitação média anual na sub-bacia é de 1.416,88 mm, com maiores frequências nos meses de dezembro a fevereiro (Figura 4.3).

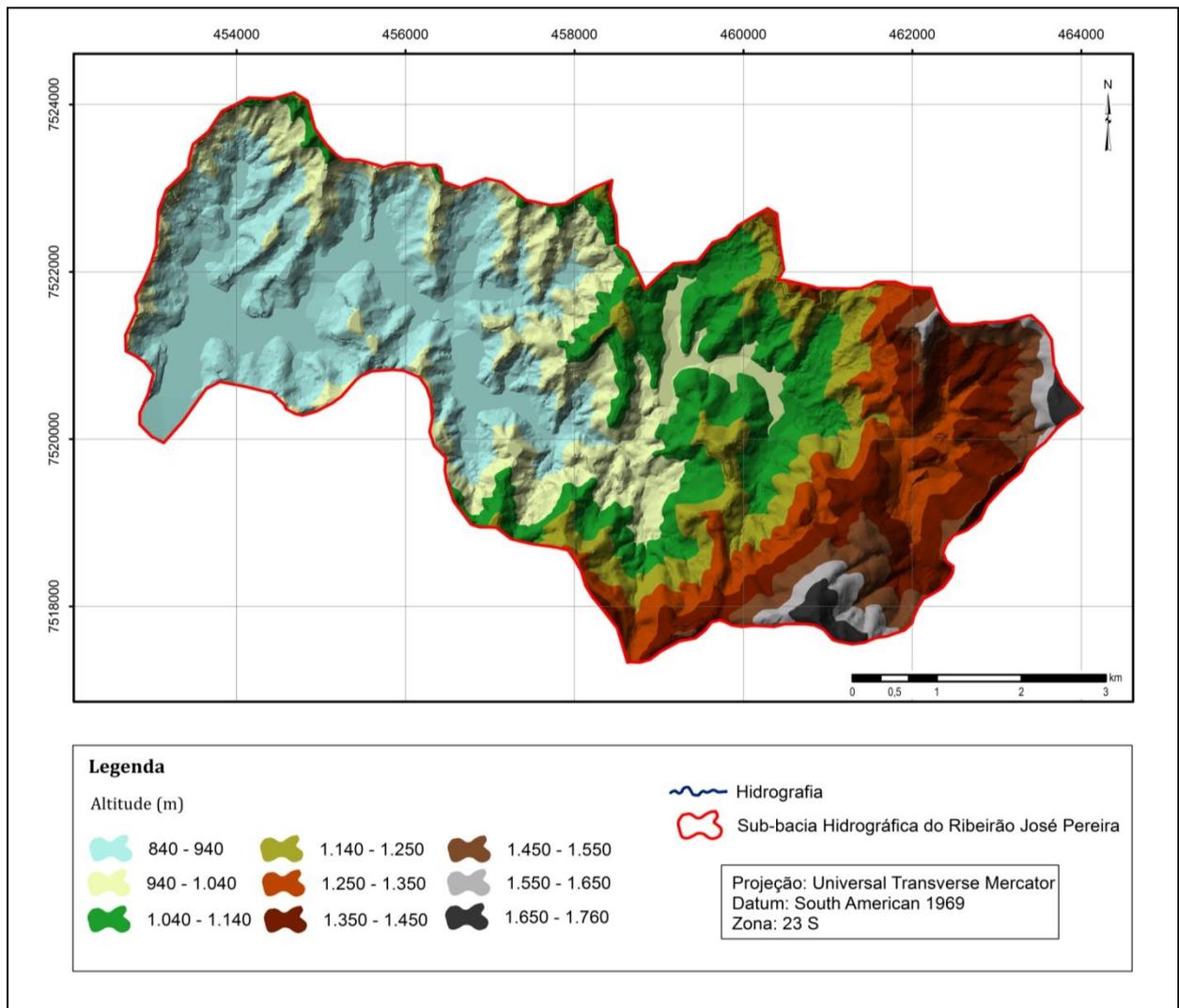


Fonte: Adaptado de INPE (2010).

**Figura 4.3:** Histograma de precipitação na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

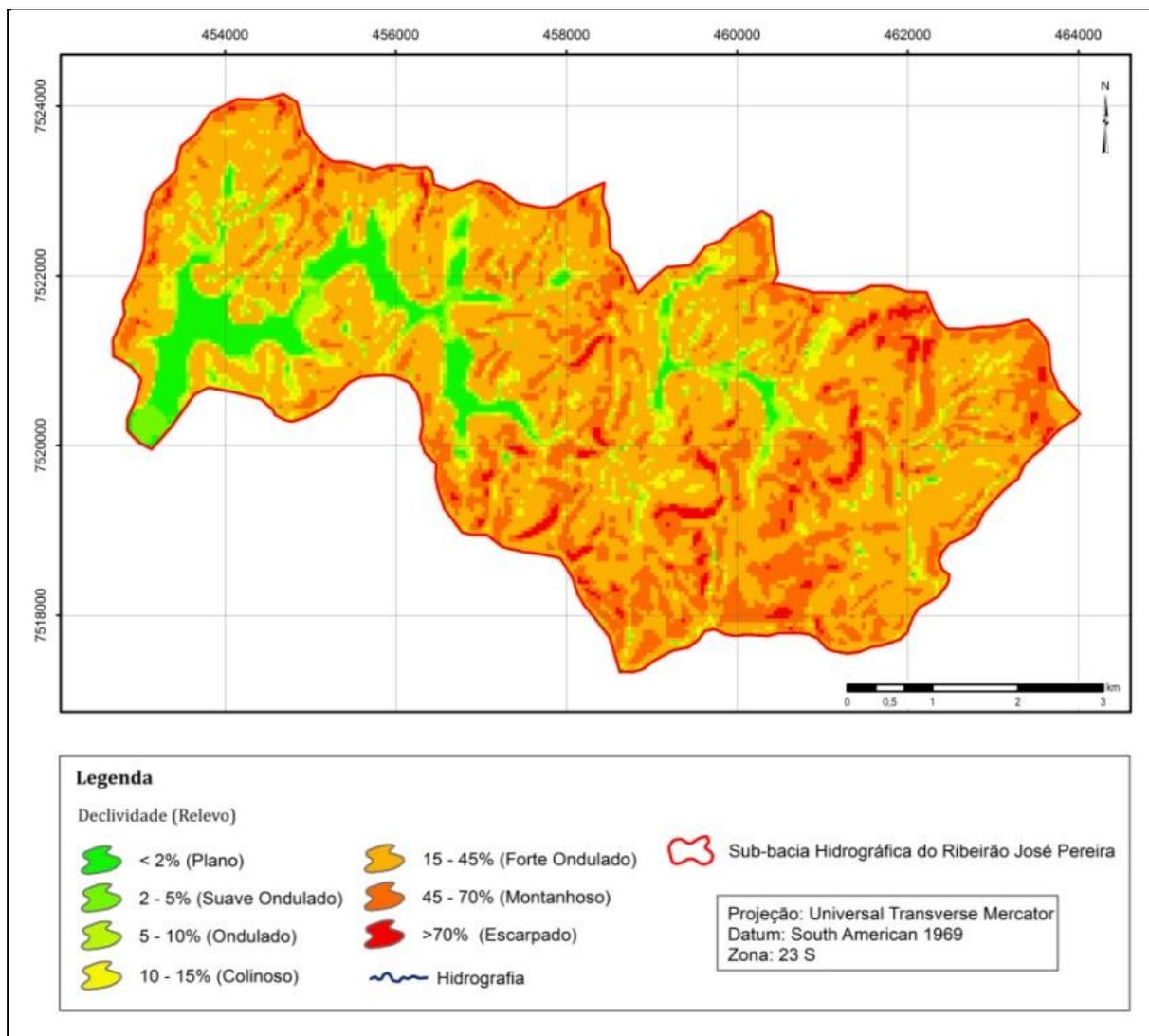
#### 4.1.3. Hipsometria e Declividade

Na área de estudo a altitude varia entre 840 e 1.760 m, sendo que a porção oeste da sub-bacia apresenta as menores altitudes, local de ocorrência das planícies fluviais e do núcleo urbano. Já as maiores elevações são observadas a leste, onde estão presentes a Serra do Juru e a Serra dos Toledos (Figura 4.4).



**Figura 4.4:** Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

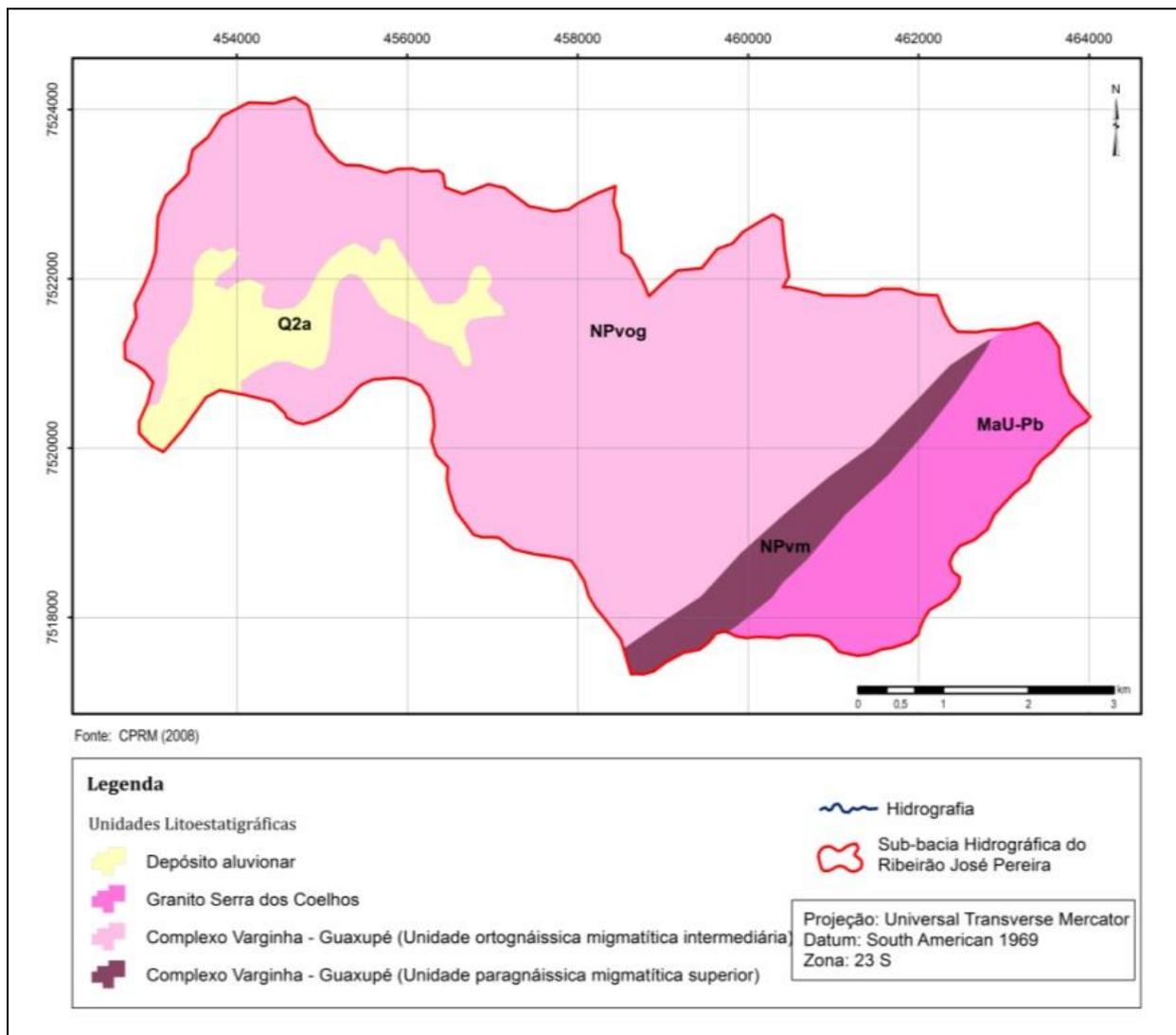
O mapa de declividade facilita a visualização do grau de inclinação do terreno em intervalos de classes, definidas de acordo com Lepsch (1991). Verifica-se que as encostas com declividades entre 15 e 45%, que caracterizam relevo Forte Ondulado, predominam na sub-bacia. As encostas com declividades superiores a 70%, relevo escarpado, ocorrem, em geral, na porção sudoeste da sub-bacia (Figura 4.5).



**Figura 4.5:** Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

#### 4.1.4. Geologia

A constituição geológica da área de estudo foi fundamentada na descrição litoestratigráfica elaborada por Trouw, Nunes, *et al.* (2008). Segundo os autores, a sub-bacia do ribeirão José Pereira compreende uma associação de rochas cristalinas do Paleoproterozóico/Arqueano, Metassedimentos Neoproterozóicos e Depósitos do Quaternário, se encaixando, regionalmente, na Província Mantiqueira (Figura 4.6).



**Figura 4.6:** Mapa de unidades litoestratigráficas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

#### 4.1.4.1. Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano

##### **Granito Serra dos Coelhos**

Pertence ao domínio Socorro-Guaxupé, corpo com dimensões quilométricas, alongado na direção nordeste-sudoeste, encaixado em gnaisses. Ocupa cerca 15% da sub-bacia, na porção leste, principalmente na Serra da Água Limpa, onde as altitudes e declividades são mais marcantes. Apresenta partes equidimensionais com granulometria média a grossa, e outras partes com fenocristais de microclina, com até 6 cm de comprimento, orientados paralelamente a foliação regional. É composto por microclina, quartzo,

plagioclásio, biotita e hornblenda. Como minerais acessórios destacam-se a allanita, além de apatita, titanita, minerais opacos e zircão. A composição química é de monzogranito, localmente chegando a quartzo-monzonito. Localmente encontram-se xenólitos de gnaisses encaixantes e enclave de diorito.

#### *4.1.4.2. Sucessões Metassedimentos Neoproterozóicos*

### **Complexo Varginha-Guaxupé**

O Complexo Varginha-Guaxupé é composto por gnaisses neoproterozóicos de origem ígnea e sedimentar. Abrange a maior parte da sub-bacia, representando mais de 76% da área. Ocorre nas subdivisões Unidades Ortognaíssica Migmatítica Intermediária e Paragnaíssica Migmatítica Superior.

A Unidade Paragnaíssica Migmatítica Superior está localizada paralelamente a oeste da Serra dos Coelhos, posicionada sobre ortognaisses. É composta por sillimanita granada paragnaisses com porfiroblastos de K-feldspato com até 5 cm de comprimento e de granada com até 1,5 cm de diâmetro. É composta por biotita, quartzo, microclina, plagioclásio, granada e sillimanita. Como minerais acessórios ocorrem titanita, apatita, epidoto e zircão. Clorita e muscovita aparecem como minerais secundários. Geralmente esses gnaisses estão intercalados com granitos anatóxicos, de granulometria média a grossa, localmente gnaissificados. Os granitos formam corpos tabulares, com espessura variando de decimétrica a métrica, paralelos a foliação principal dos paragnaisses.

A Unidade Ortognaíssica Migmatítica Intermediária está situada na porção central da sub-bacia, composta por hornblenda biotita ortognaisses e biotita ortognaisse, de composição granodiorítica a tonalítica. Esses gnaisses possuem granulometria fina, localmente com porfiroclastos, originalmente fenocristais, de feldspato, com até 3 cm de comprimento. Geralmente apresentam aspecto migmatítico com textura estromática. Ambos os litotipos possuem intercalações de lentes de anfibólitos com espessura variando de centimétrica a métrica, e granulometria fina a grossa. Os anfibólitos são compostos por hornblenda, plagioclásio e clinopiroxênio. Como minerais acessórios ocorrem apatita, titanita, minerais opacos e zircão.

#### 4.1.4.3. Depósitos Quartenários

Os depósitos aluvionares são sedimentos inconsolidados presentes nas áreas baixas do relevo, além de depósitos de tálus adjacentes às escarpas das serras e de colúvios que cobrem grandes áreas de embasamento. Ocupam aproximadamente 9% da sub-bacia.

#### 4.1.5. Geomorfologia

O relevo de Minas Gerais é responsável por tornar o Estado, um dos mais elevados do Brasil, sendo que grande parte das terras altas está na região Sudeste, onde se insere o município de Itajubá.

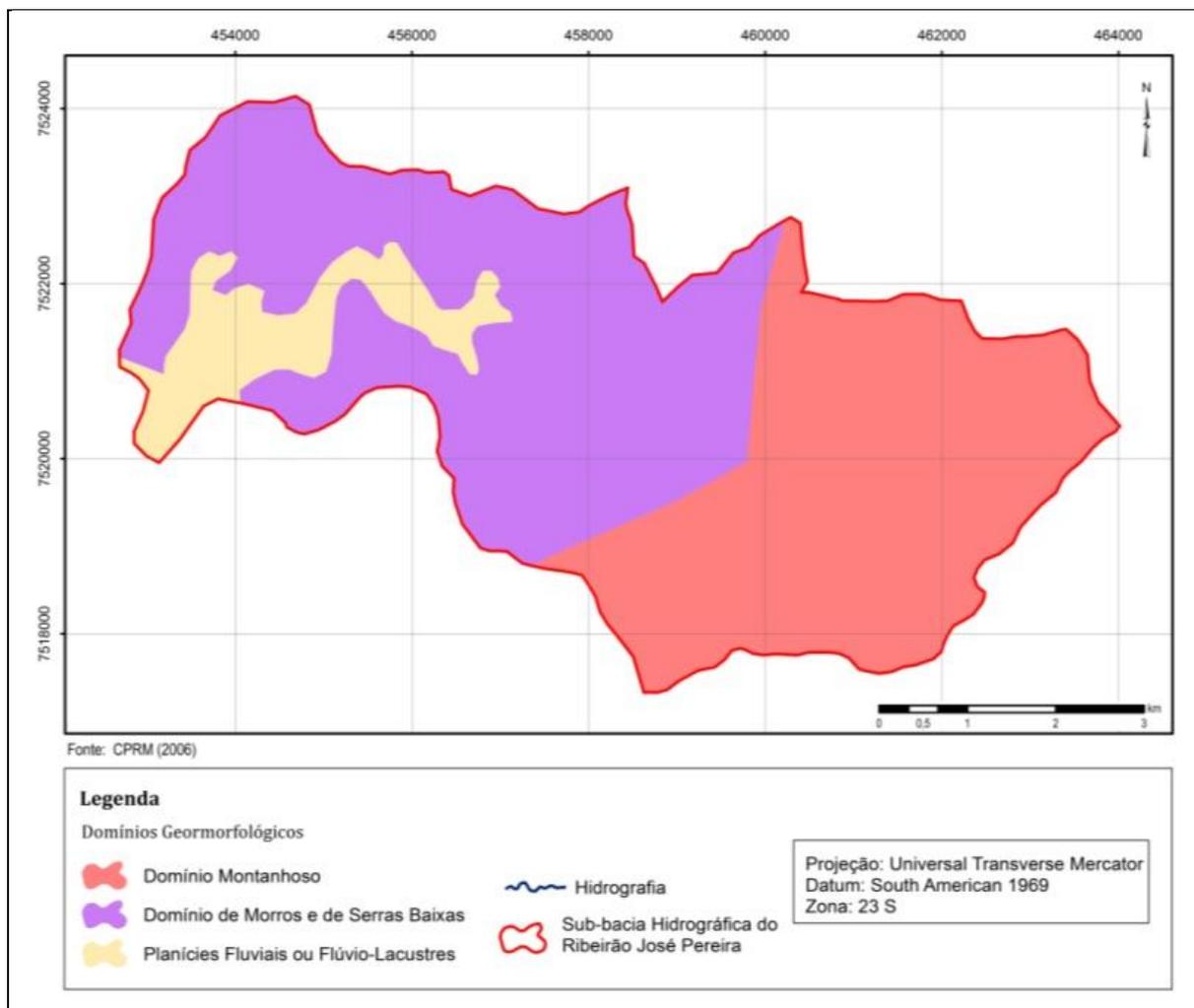
De acordo com a tipologia de domínios morfoclimáticos proposta por Ab'Saber (1965), a área de estudo se insere Domínio de Mares de Morros Florestados, compreendendo formas de relevo esculpidas sobre os terrenos dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos. Segundo Gonçalves *et al.* (2008), numa escala de maior detalhe, a área pode ser compartimentada em três unidades geomorfológicas: Domínio Montanhoso, Domínio de Morros e Serras Baixas e Planícies Fluviais (Figura 4.7).

##### 4.1.5.1. Domínio Montanhoso

Ocupa aproximadamente 34% da área de estudo, localizado na posição leste, região de maiores altitudes, onde as cristas podem atingir até 1.750 m, e declividades. Essa unidade morfoescultural foi desenvolvida sobre sequências vulcanosedimentares dobradas metamorfizadas, em baixo a médio grau, e complexos de granito-gnaiss-migmatitos e de granulitos. A unidade forma topos angulosos com vertentes retilíneas/convexas. A rede de drenagem é predominantemente dendrítica e controlada pela estrutura tectônica regional.

##### 4.1.5.2. Domínio de Morros e Serras Baixas

Unidade de relevo que predomina na sub-bacia, ocupando mais de 56% da área. Acompanha a porção oeste, com médias a baixas altitudes (800 a 1300 m). É caracterizada pelo padrão de morros baixos com vertentes convexas. Essa unidade assenta-se sobre complexos granito-gnaiss-migmatitos da crosta inferior.



**Figura 4.7:** Mapa de unidades geomorfológicas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

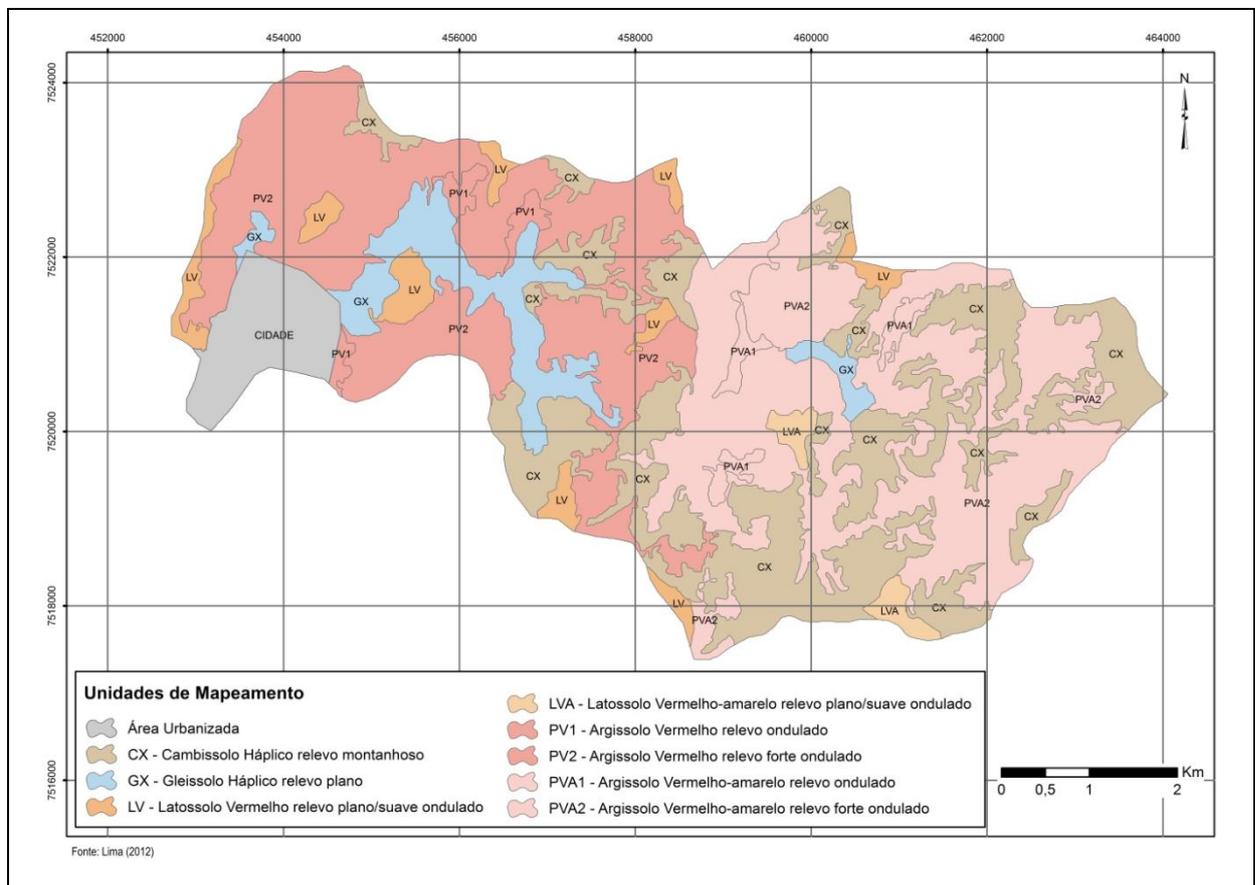
Os morros são entremeados por anfiteatros onde ao fundo são concentrados os fluxos d'água e sedimentos, que fazem ligação com as planícies de inundação dos eixos principais de drenagem. O padrão de drenagem é predominantemente dendrítico nos canais de menor ordem e canais meandantes nas planícies de inundação. Possui características geomorfológicas típicas do Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros Florestados.

#### 4.1.5.3. Planícies Fluviais

As Planícies Fluviais representam apenas 9,3% da área e se inserem sobre as cotas altimétricas mais baixas, entre 800 e 950 m, ocupando as áreas de várzea diretamente influenciadas pelas vazantes. Compreendem um conjunto de formas de relevo de agradação geradas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno por uma interação de processos fluviais.

#### 4.1.6. Solos

De acordo com Lima (2012), a sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira possui oito unidades de mapeamento, considerando a classe do solo e sua posição no relevo. Conforme o mapa de solos (Figura 4.8), na escala 1:25.000, os Cambissolos Háplicos ocupam 26% da área, predominando no relevo montanhoso, onde os processos de intensa erosão não permitem o aprofundamento e envelhecimento do perfil, o que justifica a profundidade efetiva média de 100 cm, e horizonte B incipiente com espessura média de apenas 30 cm. A textura foi média a argilosa, e a fertilidade distrófica e eutrófica.



**Figura 4.8:** Mapa de solos da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira.

Os Gleissolos ocupam 7% da sub-bacia, localizada nas baixadas, onde se formam zonas de acúmulo de água, condicionando aos solos características hidromórficas. Além disso, há a formação de vales suspensos, onde também está presente essa classe de solo. Os perfis de Gleissolos estão situados em drenagem deficiente, em presença de lençol freático próximo à superfície, em média a 70 cm. O horizonte glei possui baixa a média fertilidade,

portanto distróficos, estrutura maciça, textura média, sendo a classe de solo com maior porcentagem de areia e menor de argila. No geral, as cores de fundo são cinzentas ou acinzentadas e com presença de mosqueados.

Os Latossolos predominaram no relevo plano-ondulado, principalmente nos topos de morros, ocupando 6% da área. Em geral, apresentam baixa fertilidade, distróficos, e com profundidade efetiva média de 2 m, constituindo a classe com estágio de intemperismo mais avançado na sub-bacia. Apresentam horizonte latossólico com estrutura granular e algumas subangulares, de grau moderado a forte, textura média no horizonte superficial e argilosa nos demais.

Os Argissolos constituíram a classe de solo dominante na sub-bacia, representando 56% da área, ocupando o relevo ondulado e forte ondulado, profundidade efetiva média foi de 1,6 m, cerosidade presente em grau moderado a forte, e em quantidade comum a abundante, predomina a estrutura em blocos subangular com grau moderada, seguida de blocos angulares com grau moderada. A maior parte dos perfis apresenta textura média nos horizontes superficiais e argilosa nos subsuperficiais, principalmente em função do processo de lessivagem do horizonte A ao B, caracterizando em grande parte, relação textural B/A superior a 1,7. Ainda, em alguns perfis é possível a identificação da mudança textural abrupta. Segundo Oliveira (2005), a mudança textural abrupta é um dos atributos diagnósticos de maior relevância do ponto de vista agrônomo e geotécnico, pois indica horizontes com comportamento físico contrastante, especialmente quando relacionado à dinâmica da água.

#### 4.1.7. Vegetação

A área de estudo está inserida no bioma Mata Atlântica, com vegetação primária, definida pelo IBGE (1992), como Floresta Estacional Semidecidual. O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada, e outra subtropical, estacionalidade em que a sub-bacia se insere, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C.

A REBIO Serra dos Toledos, maior remanescente de Mata Atlântica na bacia, possui a cobertura vegetal original de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista, porém, na atualidade a maior parte da reserva é formada por vegetação secundária.

## 4.2. Campanha de Campo

### 4.2.1. Definição das Áreas Degradadas

Como o conceito de áreas degradadas é muito amplo, foi necessária a definição de alguns parâmetros que determinassem quais áreas e ou processos seriam, de fato, objetos do estudo. Para isso, foram realizadas, em janeiro de 2011, visitas na bacia, a fim de levantar os fatores de pressão e os processos modificadores do ambiente.

Por meio das visitas foi verificado que a expansão urbana e a pecuária são os principais fatores de pressão na bacia, causando, sobretudo, a degradação do solo, tanto pela retirada da vegetação e exposição da camada superficial, quanto pelo manejo inadequado das terras, que desencadeia processos erosivos. Além disso, estão presentes áreas de empréstimo, na maioria das vezes sem recuperação e um significativo número de deslocamentos de massa.

Esses processos, além de causarem a degradação do solo, provocam, também, a deterioração da água, por meio do assoreamento e redução da qualidade, e afetam as atividades antrópicas, especialmente as do meio rural, pela redução da produtividade da terra. Nesse contexto, os locais com exposição do solo – nos quais estão incluídos as pastagens erodidas, os deslocamentos de massa em encostas e cortes de estrada e erosão em áreas de empréstimo – foram definidos como as áreas degradadas alvo do estudo (Figura 4.9).



**Figura 4.9:** Áreas degradadas alvo do estudo (a) deslocamento de massa em corte de estrada (b) pastagem erodida (c) talude erodido (d) erosão em área de empréstimo.

### 4.2.2. Levantamento das Áreas Degradadas

As campanhas para levantamento das áreas degradadas ocorreram em dois períodos, o primeiro, entre os dias 21 de maio e 3 de junho de 2011, e o segundo, entre 3 de outubro e 15 de novembro de 2011.

Como ocorre um número significativo de áreas degradadas e, procurando caracterizar toda a sub-bacia, foram selecionadas aquelas consideradas representativas, devido às grandes dimensões e ocorrência em posições estratégicas da bacia e da paisagem.

O levantamento das áreas foi composto por três etapas: caracterização, coleta das amostras de solo e ensaios com o Permeômetro de Guelph.

#### 4.2.2.1. Caracterização

Para a caracterização da área foi preenchida uma ficha de avaliação, composta por 13 itens (Apêndice I), a fim de reunir a maior quantidade de informações, tais como: localização, tipo de degradação, fenomenologia, uso e ocupação, posição na encosta, características do entorno, dentre outros. Esses dados embasaram o diagnóstico e a discussão dos resultados. A etapa de caracterização envolveu, ainda, a mensuração da área, realizada com trena e réguas graduadas (Figura 4.10).



**Figura 4.10:** Mensuração das áreas degradadas, realizada com trena ou régua graduada, durante a etapa de caracterização.

#### 4.2.2.2. Coleta das Amostras de Solo

As amostras de solo foram coletadas na parte superior da área degradada e, quando possível, na posição central, para obter amostras homogêneas e representativas.

As amostras deformadas foram coletadas em quatro profundidades: de 0 a 10 cm, de 10 a 30 cm, de 30 a 60 cm e de 60 a 90 cm. Para a amostragem foi necessária a limpeza da parte exposta do solo, realizada com o auxílio de uma escavadeira manual. Posteriormente, o

solo foi coletado com uma enxadinha e acondicionado em sacos plásticos previamente identificados (Figura 4.11).



**Figura 4.11:** Procedimentos de coleta de amostras deformadas de solo.

As amostras indeformadas foram coletadas em três profundidades: de 10 a 30 cm, de 30 a 60 cm e de 60 a 90 cm. A coleta foi realizada com auxílio de um Amostrador de Uhland e anéis metálicos de 100 cm<sup>3</sup>, com o cuidado de não destorroar e deformar a amostra. A porção de solo sobressalente a borda do anel foi removida cuidadosamente com uma faca e o anel acondicionado em sacos plásticos previamente identificados e encaminhados para o laboratório (Figura 4.12).



**Figura 4.12:** Procedimentos de coleta de amostras indeformadas de solo.

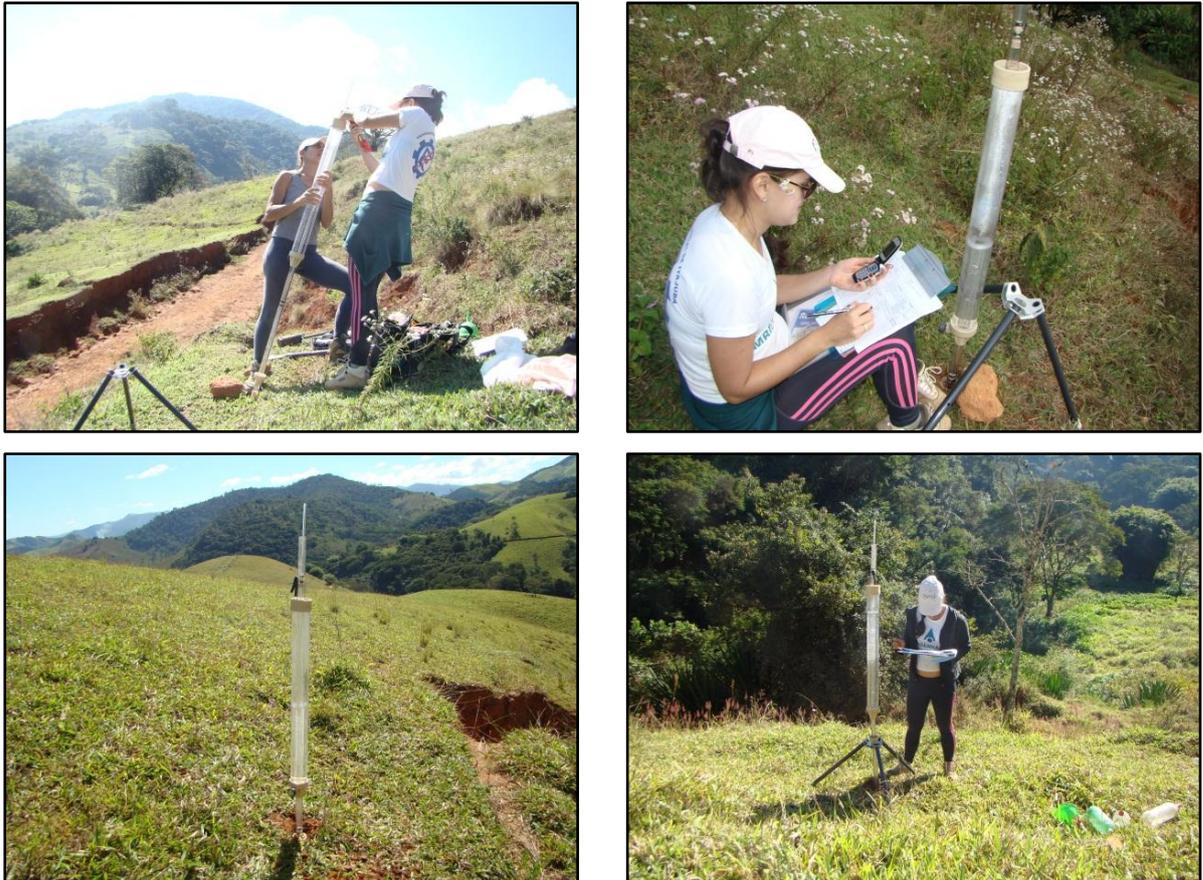
#### 4.2.2.3. Ensaio com o Permeômetro de Guelph

De acordo com Ribeiro (2010), o Permeômetro de Guelph é um permeômetro de furo e de carga hidráulica constante, que mede a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático. Esse instrumento foi desenvolvido por Reynolds e Elrick em 1983, e posteriormente, aperfeiçoado pelos criadores na *University of Guelph*, Canadá. De forma simples, o permeômetro permite a realização de ensaios de infiltração em campo, possibilitando a obtenção da condutividade hidráulica saturada ( $K_{fs}$ ).

No estudo os ensaios com o Permeômetro de Guelph foram realizados em três profundidades: de 10 a 30 cm, de 30 a 60 cm e de 60 a 90 cm. Assim como procedido com a coleta das amostras de solo, o equipamento foi instalado na parte superior e mais central da área degradada.

O ensaio foi iniciado com abertura do furo na profundidade desejada, com auxílio do trado que acompanha o equipamento. Em paralelo, o permeômetro foi montado e abastecido com aproximadamente 2,5 litros de água. Como essa quantidade de água não preencheu o

equipamento por completo foi necessário a remoção do ar com a utilização de uma bomba de vácuo. Posteriormente, o permeâmetro foi colocado no furo e estabelecida uma carga constante de 5 cm (recomendada no manual). A carga gerou uma turbulência e quando o nível de água se estabilizou, foram iniciadas leituras em intervalos de 2 minutos, até atingir, no mínimo, 20 leituras (Figura 4.13).



**Figura 4.13:** Ensaios realizados com o Permeâmetro de Guelph.

### 4.3. Análises Laboratoriais

Para a caracterização das áreas degradadas foram determinados nove atributos (estabilidade de agregados via seca, estabilidade de agregados via úmida, textura, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade aparente, carbono orgânico total e condutividade hidráulica saturada). Com exceção da condutividade hidráulica saturada determinada *in situ* e classificada segundo a *Soil Survey Staff* (1993) (Anexo I), as demais análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos da UNIFEI.

#### 4.3.1. Preparação das Amostras

Após a coleta em campo, as amostras deformadas de solo foram mantidas em câmara fria até o momento de sua utilização. Anteriormente ao início das análises, as amostras foram transferidas para bandejas plásticas, espalhadas e os torrões existentes destorroados manualmente. As bandejas foram deixadas em local seco e ventilado até a completa dessecação ao ar. Posteriormente, o solo foi passado em um conjunto de três peneiras (com malhas de 8, 4 e 2 mm), com o auxílio de um agitador mecânico (Figura 4.14).

Os agregados retidos na peneira de 4 mm foram utilizados para determinação de estabilidade via seca e úmida. Já as amostras de solo menores que 2 mm, retidas no fundo do conjunto de peneiras, foram utilizadas para análise de textura e carbono orgânico total.



**Figura 4.14:** Preparação das amostras de solo para as análises laboratoriais.

### 4.3.2. Estabilidade de Agregados

#### 4.3.2.1. Via Úmida

Para a análise de estabilidade via úmida foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela EMBRAPA (1997) (Figura 4.15). Inicialmente foram pesadas quatro amostras de 50 g dos agregados retidos na peneira de 4 mm. A primeira amostra foi colocada em lata de alumínio de peso conhecido, levada para estufa a 105 °C por uma noite, esfriada e pesada, para determinação da umidade residual. As outras três amostras foram transferidas para discos de papel filtro e mantidas sobre areia úmida durante 1 hora, para que fossem umedecidas por capilaridade.

Posteriormente, as amostras foram transferidas, com auxílio de um atomizador manual, para três conjuntos de peneiras de malhas 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,106 mm. Os conjuntos de paneiras foram colocados no aparelho preconizado por Yoder (1936), calibrado para funcionar durante 15 minutos, com 32 oscilações/min. e 4,0 cm de amplitude. Após o término das oscilações, os agregados retidos em cada uma das peneiras foram transferidos para latas de alumínio numeradas e com pesos conhecidos, levadas para secagem em estufa a 105° C durante 24 horas, e em seguida pesadas.

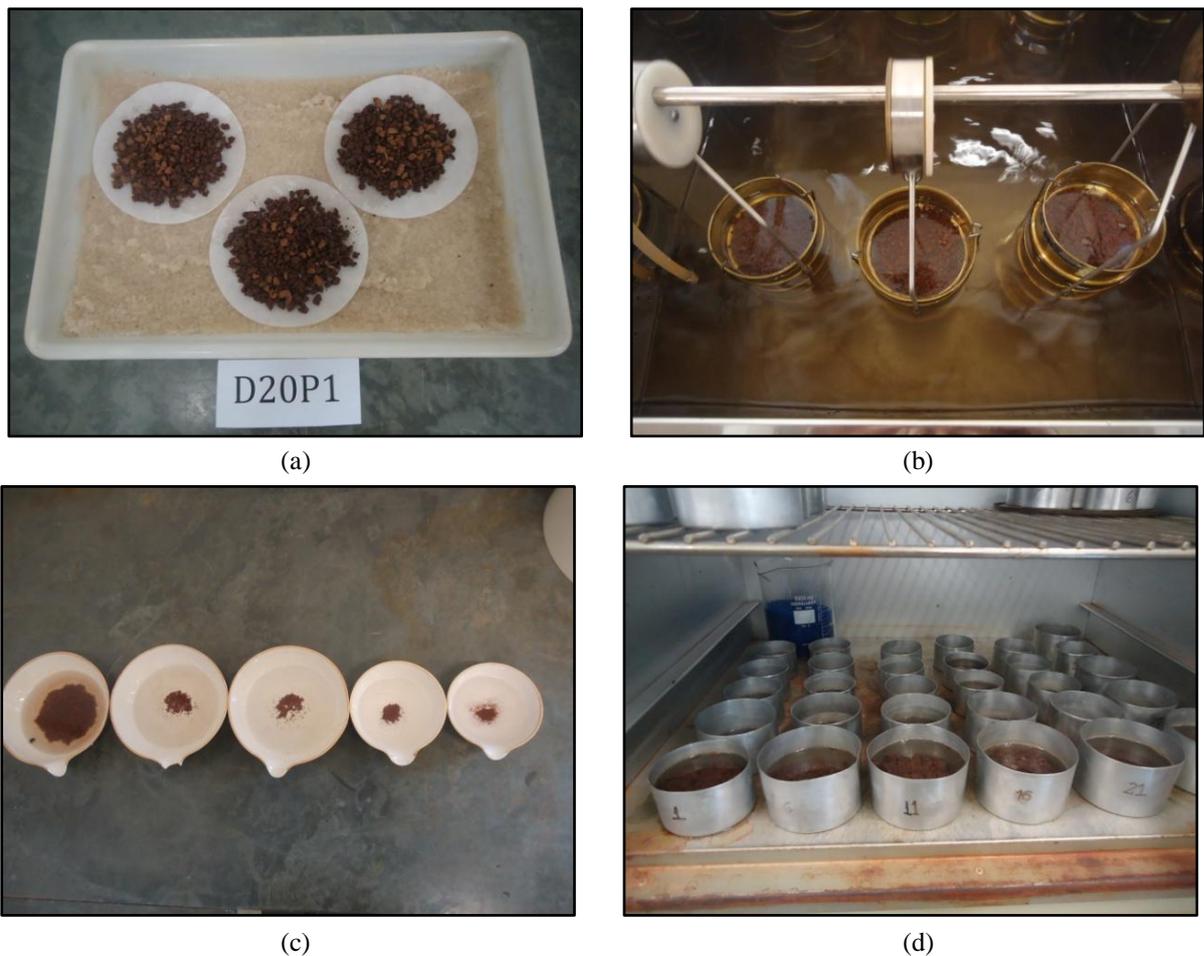
Os resultados permitiram o cálculo do Diâmetro Médio Geométrico (DMG), segundo Equação 4.1, e do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), de acordo com a Equação 4.2 proposta por Kemper e Rosenau (1986).

$$\text{DMG} = 10 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \right] \quad \text{Equação 4.1}$$

Em que  $x_i$  é a porcentagem de agregados na classe de tamanho médio igual a  $d_i$ .

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n w_i d_i \quad \text{Equação 4.2}$$

Na qual  $w_i$  é o quociente da massa de agregados retidos na peneira  $i$  sobre a massa total, e  $d_i$  o diâmetro médio da fração.



**Figura 4.15:** Procedimento para análise de estabilidade de agregados via úmida: (a) umedecimento das amostras por capilaridade (b) tamisamento das amostras no aparelho de Yoder (c) amostras transferidas das peneiras para cadinhos (d) secagem das amostras na estufa.

#### 4.3.2.2. *Via Seca*

Para determinar a estabilidade de agregados via seca, primeiramente foram pesadas quatro amostras de 50 g dos agregados retidos na peneira de 4 mm. Uma das amostras foi transferida para lata de alumínio de peso conhecido, levada para estufa a 105 °C por uma noite, esfriada e pesada, para determinação da umidade residual. As outras amostras foram colocadas em conjuntos de peneiras de malhas 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,106 mm, transferidas para agitador orbital com batidas intermitentes durante 15 minutos. Após esse período, os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para uma folha de jornal e, posteriormente, para cadinhos de porcelana, que em seguida foram pesados em balança digital com precisão de dois dígitos (Figura 4.16).



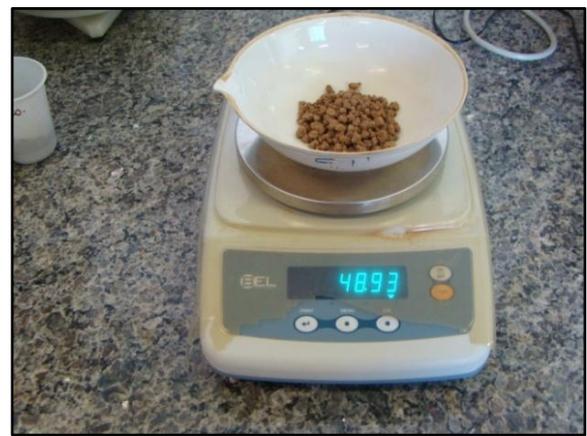
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4.16:** Procedimento para análise de estabilidade de agregados via seca: (a) peneiramento da amostra em agitador orbital de batida intermitente (b) transferência da amostra para folha de jornal (c) transferência da amostra para cadinho de porcelana (d) pesagem em balança digital.

A partir dos resultados foram calculados o DMG, por meio da Equação 4.1, o DMP, de acordo com a Equação 4.2, e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), desenvolvido por Wedling, Jucksch, *et al.* (2005) e apresentado na Equação 4.3.

$$IEA = \left( \frac{DMP_u}{DMP_s} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 4.3}$$

Em que  $DMP_u$  é o diâmetro médio ponderado via úmida e  $DMP_s$  o diâmetro médio ponderado via seca.

### 4.3.3. Análise Textural

A textura foi determinada pelo Método da Pipeta (EMBRAPA,1997) (Figura 4.17). No dia anterior as análises, as amostras de solo que passaram pela peneira de 2 mm foram secadas em estufa a 105 °C, durante 24 horas, para a obtenção de Terra Fina Seca em Estufa (TFSE).

Posteriormente, foram pesadas três amostras de 10 g de TFSE em balança digital com precisão de quatro dígitos. Essas amostras foram transferidas para três copos metálicos, preenchidos com água destilada em 2/3 do volume, e adicionados 10 ml de solução normal de hidróxido de sódio. As soluções permaneceram em repouso por 15 minutos, e, após esse período, foram colocadas no agitador elétrico durante 20 minutos.

Após a agitação as soluções foram transferidas, com auxílio de um atomizador manual, para provetas de 1.000 ml e preenchidas com água destilada até o volume máximo. Foi então verificada a temperatura das soluções e determinado, por meio de consulta a tabela padronizada, o tempo de sedimentação da fração argila. As soluções das provetas foram agitadas com um bastão por 60 segundos e deixadas em repouso durante o tempo determinado. Exatamente no horário estabelecido foram coletados, com uma pipeta, 10 ml das suspensões em até 5 cm de profundidade. As suspensões foram transferidas para cápsulas de alumínio com pesos conhecidos, secas em estufa a 105 °C durante 24 horas, esfriadas, e finalmente pesadas, obtendo-se, assim, o peso da argila.

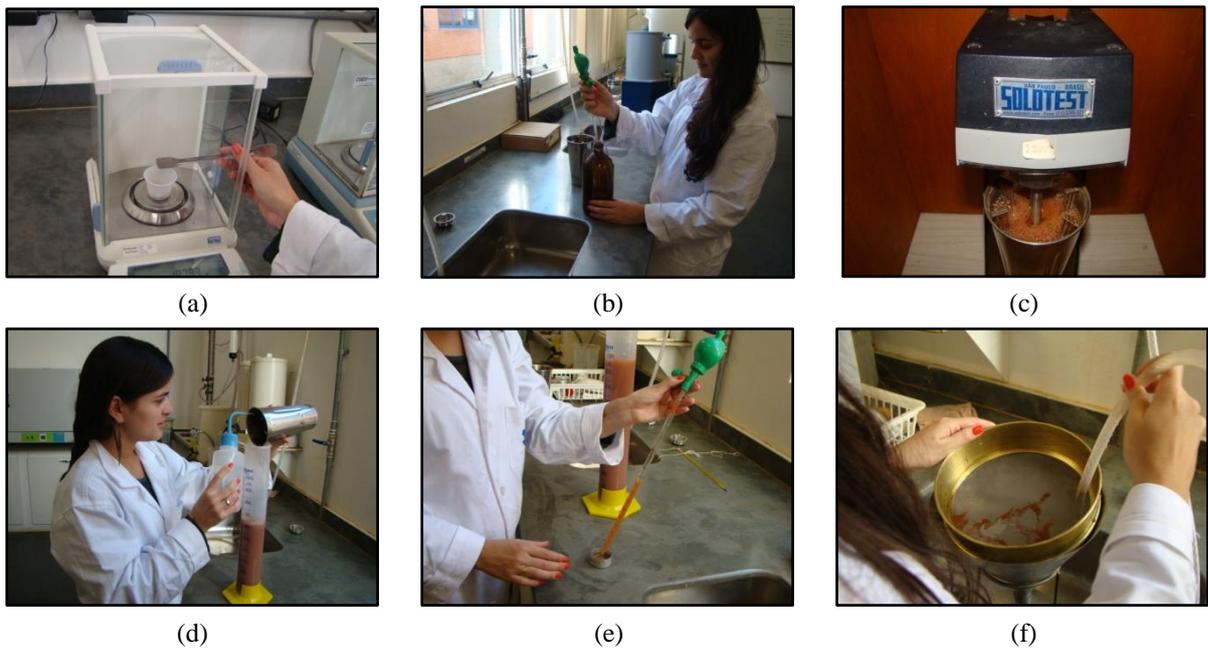
As amostras que permaneceram nas provetas foram passadas em peneira de 0,053 mm, colocada sobre um funil apoiado em um suporte. As amostras de areia que ficaram retidas na peneira foram lavadas com água corrente e transferidas para latinhas de alumínio com pesos conhecidos, secas em estufa a 105 °C durante 24 horas, esfriadas e pesadas, obtendo-se, dessa forma, o peso da areia.

Para determinação das frações de argila, areia e silte foram utilizadas a Equação 4.4, Equação 4.5 e Equação 4.6, respectivamente.

$$\text{Argila} = 1000 \cdot (\text{Peso da argila} - 0,004) \quad \text{Equação 4.4}$$

$$\text{Areia} = 10 \cdot (\text{Peso da areia}) \quad \text{Equação 4.5}$$

$$\text{Silte} = 100 - (\text{Peso da argila} + \text{Peso da areia}) \quad \text{Equação 4.6}$$



**Figura 4.17:** Procedimento para análise textura: (a) pesagem de amostra de 10 g (b) adição de 10 ml de hidróxido de sódio (c) agitação da solução (d) transferência da solução para proveta (e) transferência da amostra para cápsula de alumínio (f) lavagem da areia.

#### 4.3.4. Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade e Densidade Aparente

As variáveis relacionadas à porosidade foram determinadas pelo Método da Mesa de Tensão (EIJKELKAMP, 2007) (Figura 4.18). Os anéis com as amostras indeformadas de solo foram inseridos em bandeja com água, para saturação. Para evitar o contato direto da amostra com a bandeja foram colocados, na parte inferior dos anéis, discos de tecido filtro, presos por elásticos, ambos com pesos conhecidos.

Os anéis permaneceram na bandeja por, no mínimo, uma semana, até ser atingida a saturação, verificada pela presença de uma tênue lâmina d'água sobre a porção superior da amostra. Quando as amostras atingiram a saturação foram anotados os pesos dos anéis, incluindo tecido e elástico ( $P_0$ ).

Após a saturação, os anéis foram transferidos para a mesa de tensão, já devidamente preparada, e mantidos em repouso por um dia. No dia seguinte foi aplicado um nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d'água, valor de pressão que retira a água dos macroporos ( $\theta > 0,05$  mm). Nessa fase, os anéis eram removidos da mesa e pesados frequentemente até a estabilização do peso. Quando as amostras apresentaram estabilização, os pesos dos anéis, incluindo tecido e elástico foram anotados ( $P_1$ ).

Posteriormente a estabilização, os tecidos filtro e os elásticos foram removidos e os anéis transferidos para estufa a 105°C durante 48 horas. As amostras de solo já secas foram retiradas dos anéis e pesadas com auxílio de um cadinho de porcelana. Os pesos das amostras secas foram anotados ( $P_2'$ ).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4.18:** Procedimento para determinação da porosidade: (a) mesa de tensão (b) saturação dos anéis em bandeja com água (c) sucção dos anéis na mesa de tensão (d) secagem das amostras em estufa.

A macroporosidade e a microporosidade foram obtidas por meio da Equação 4.7 e Equação 4.8, respectivamente.

$$\text{Macroporosidade} = \left( \frac{P_0' - P_1'}{v} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 4.7}$$

Na qual  $P_0'$  é o peso da amostra saturada (subtraídos os pesos do anel, tecido filtro e elástico),  $P_1'$  o peso da amostra estabilizada (subtraídos os pesos do anel, tecido filtro e elástico) e  $v$  o volume do anel ( $100 \text{ cm}^3$ ).

$$\text{Microporosidade} = \left( \frac{P_1' - P_2'}{v} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 4.8}$$

Em que  $P_2'$  é o peso da amostra seca em estufa.

Para o cálculo da porosidade total e densidade aparente foram utilizadas a Equação 4.9 e Equação 4.10.

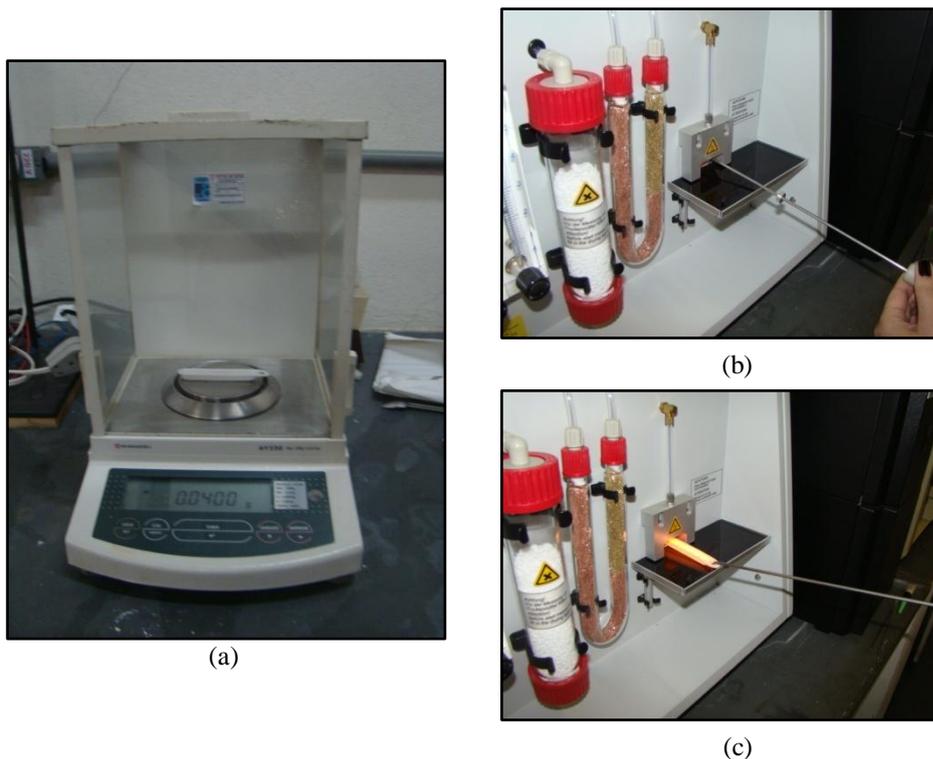
$$\text{Porosidade Total} = \text{Macro} + \text{Micro} \quad \text{Equação 4.9}$$

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{P_2'}{v} \quad \text{Equação 4.10}$$

#### 4.3.5. Carbono Orgânico Total

O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo Método de Combustão a Seco, em equipamento específico para a análise (Analytkjena – Modelo HT1300). Nesse método, a amostra é oxidada em presença de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  e  $\text{CO}_3\text{O}_4/\text{Ag}$  em forno, à temperatura de 1.020 a 1.500 °C, alimentado com  $\text{O}_2$  sob pressão de 30 kPa. As moléculas orgânicas são oxidadas na forma  $\text{N}_x\text{O}_y$  e  $\text{CO}_2$ .  $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ , que são carregadas, nas formas de gás, para um forno de redução, sob fluxo de hélio. O forno de redução contém íons Cu, à temperatura de 750 °C, de onde o N sai na forma de  $\text{N}_2$ . Posteriormente, o  $\text{N}_2$  e o  $\text{CO}_2$  são separados em uma coluna cromatográfica e determinados em detector apropriado (RHEINHEIMER, CAMPOS, *et al.*, 2008).

No cadinho de porcelana, exclusivo do equipamento, foram pesados 40 mg de TFSE. Em seguida, o cadinho foi introduzido no tubo de combustão, e, após aproximadamente 15 minutos, o equipamento fazia a leitura dos teores de carbono (Figura 4.19).



**Figura 4.19:** Procedimento para determinação de COT: (a) pesagem de 40 mg de TFSE (b) introdução da amostra no forno (c) remoção da amostra após a leitura.

#### 4.4. Trabalho de Escritório

##### 4.4.1. Mapas Temáticos

O estudo de erosão do solo e deslizamentos implica, necessariamente, no conhecimento das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, dos aspectos de vegetação e das condições climáticas da área de estudo, que condicionam o desenvolvimento dos processos geodinâmicos (NETTO e SOBREIRA, 2006).

Para a elaboração dos mapas temáticos foram utilizados o software ArcGis 10<sup>®</sup> e arquivos vetoriais oriundos de bases de dados de referência, tais como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), dentre outros (Tabela 4.1).

Os mapas de altimetria e declividade foram elaborados com base no levantamento topográfico realizado pelo Laboratório de Informações Hídricas (LIH) da UNIFEI. Já o mapa de solos é resultado do estudo de Lima (2012).

**Tabela 4.1:** Base de dados utilizadas para elaboração dos mapas temáticos.

Mapa	Dados Necessários	Escala Original	Base de Dados
Localização	Limites estaduais e municipais	1:5.000.000 e 1:1.200.000	IBGE (2004, 2009)
Geologia	Unidades litológicas e estruturais	1:100.000	CPRM (2008)
Geomorfologia	Aspectos de geodiversidade	1:1.000.000	CPRM (2006)
Altimetria e Declividade	Levantamento topográfico	-	LIH
Solos	Classes pedológicas	1:25.000	Lima (2012)

Todos os mapas foram elaborados na projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM), datum *South America 1969* (SAD 69) e zona 23 S.

#### 4.4.2. Uso e Ocupação do Solo

O mapeamento das formas de uso e ocupação da bacia foi realizado por meio da vetorização, com auxílio do software ArcGis 10<sup>®</sup>, de imagem de satélite Quickbird de 21 de maio de 2011.

O trabalho de campo e as visitas realizadas na área auxiliaram na definição das sete classes de uso, a saber: solo exposto, estrada pavimentada, urbanização, pastagem, mata, água e cultura.

#### 4.4.3. Capacidade de Uso da Terra

A capacidade de uso da terra foi determinada de acordo com as especificações do Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH, 1991).

O Sistema de Capacidade de Uso é uma classificação técnico-interpretativa, que visa a obtenção de classes homogêneas de terras, com o propósito de definir sua máxima capacidade de uso sem que sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento, especialmente, por erosão acelerada. É baseado nas limitações permanentes das terras e voltado para as possibilidades e limitações de utilização das mesmas (LEPSCH, 1991). É hierarquizado da seguinte forma:

- *Grupos de Capacidade de Uso (A, B e C)*: estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras;

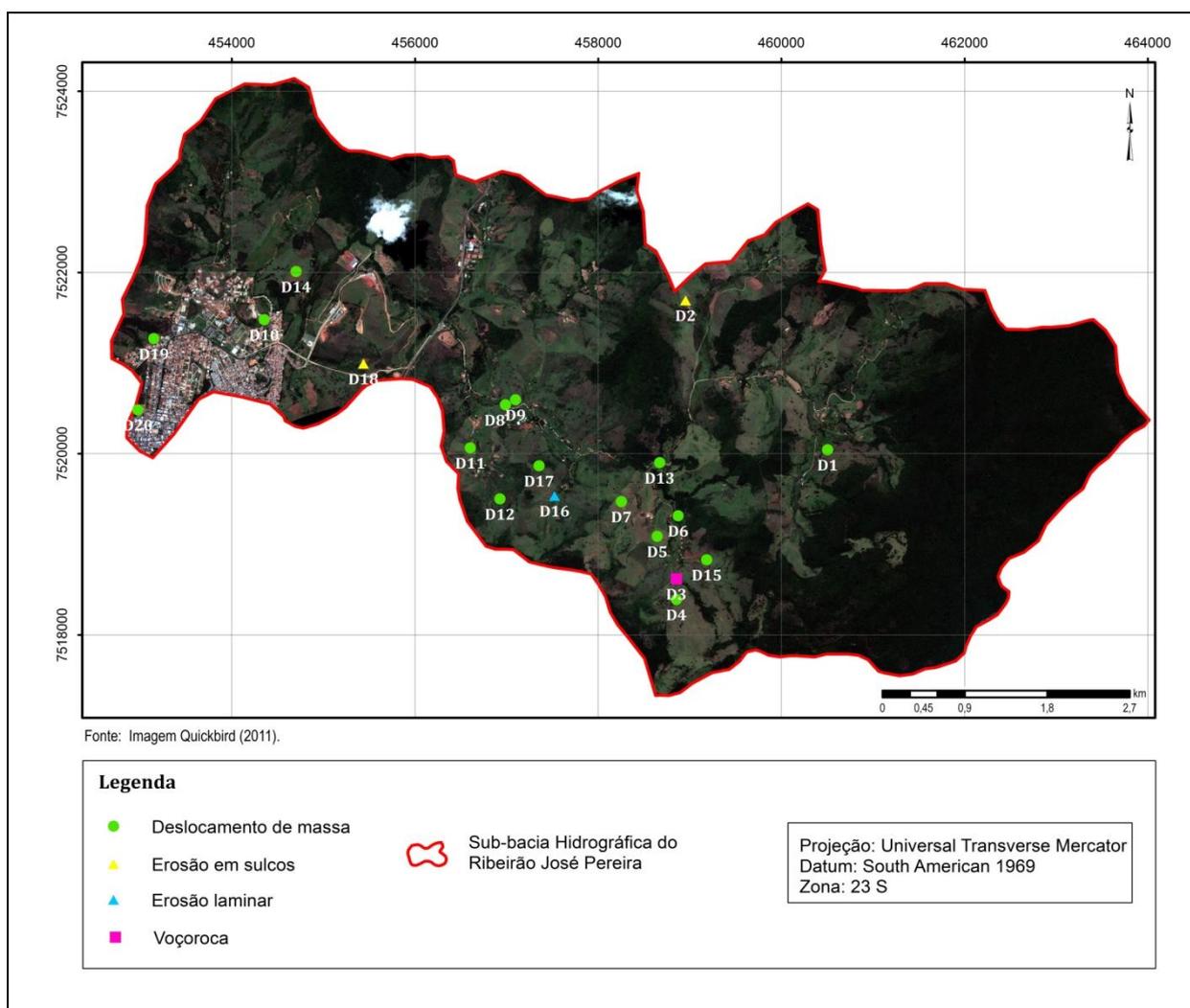
- *Classes de Capacidade de Uso (I a VIII)*: baseadas no grau de limitação de uso;
- *Subclasses de capacidade de uso (IIe, IIIe, IIIa, etc.)*: baseadas na natureza das limitações de uso, que podem ser de quatro naturezas:
  - *e*: limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão;
  - *s*: limitações relativas ao solo;
  - *a*: limitações por excesso de água;
  - *c*: limitações climáticas.
- *Unidades de capacidade de uso (IIe-1, IIe-2, IIIe-1, etc.)*: baseadas em condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra.

Para o estabelecimento da capacidade de uso das terras na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira, foi necessário, inicialmente, a delimitação das glebas, segundo a combinação entre classes de solo e declividade, obedecendo à área mínima mapeável de 10 ha. Posteriormente, as classes de capacidade foram estabelecidas de acordo com a tabela de julgamento proposta por Bertolini e Bellinazzi Junior (1994) (Anexo II).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização Geral das Áreas Degradadas

Foram levantadas e registradas 20 áreas degradadas, ordenadas em quatro grupos: (i) deslocamentos de massa, com 16 áreas, (ii) erosão em sulcos, com duas, (iii) erosão laminar, com uma área, e (iv) voçoroca, também com uma área (Figura 5.1 e Tabela 5.1).



**Figura 5.1:** Distribuição das áreas degradadas levantadas na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

Na parte alta da bacia, há menor ocorrência de áreas degradadas, o que pode estar relacionado à presença de remanescentes florestais, protegidos pela REBIO Serra dos Toledo. De acordo com Oliveira, Silva, *et al.* (2012), os locais com vegetação densa possuem reduzida erosão hídrica, pois o solo protegido do impacto da chuva aumenta a infiltração de

água e diminui a concentração e o escoamento sobre a superfície e, também, mantém a matéria orgânica que proporciona maior agregação do solo. A vegetação também contribui na estabilidade de encostas, por meio de mecanismos hidrológicos, como a remoção da umidade do solo pelas raízes e reforço mecânico, como o aumento da resistência ao cisalhamento proporcionado pelo sistema radicular (ARAUJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005).

O maior número de degradações, especialmente os deslocamentos de massa, ocorre na porção sudoeste da bacia. Nesse setor há o predomínio de pastagens, em condições de baixo nível conservacionista e em altas declividades, superiores a 50% (Tabela 5.1). Oliveira, Ferreira e Paes (2006), em estudo de planejamento territorial da sub-bacia do ribeirão José Pereira, verificaram que as pastagens, quando localizadas em terrenos com declives acima 30%, contribuem significativamente para a instalação de processos erosivos.

Na área urbana, situada na parte baixa, as degradações estão associadas à abertura de áreas de empréstimo e cortes de taludes para implantação de loteamentos (

Figura 5.1). Zuquette, Carvalho e Yamanouth (2007), em estudo das feições erosivas na bacia do córrego do Espriado (São Pedro/SP), no período de 1972 a 2002, comprovaram a influência das atividades associadas as operações de loteamentos na aceleração e evolução de fenômenos erosivos.

**Tabela 5.1:** Dados característicos das áreas degradadas levantadas no estudo.

<b>Código</b>	<b>Degradação</b>	<b>Coordenadas 23 K - UTM</b>	<b>Local</b>	<b>Posição na encosta</b>	<b>Forma da encosta</b>	<b>Dec.<sup>1</sup> (%)</b>
D1	Deslocamento de massa em corte de estrada	460506 7520042	Pastagem	Terço médio	Convexa	52,46
D2	Erosão em sulcos	458954 7521691	Pastagem	Terço inferior	Convexa	34,12
D3	Voçoroca	458854 7518617	Pastagem	Terço inferior	Côncava	36,09
D4	Deslocamento de massa em encosta	458855 7518389	Pastagem	Terço superior	Convexa	55,69
D5	Deslocamento de massa em encosta	458645 7519086	Pastagem	Terço médio	Convexa	70,95
D6	Deslocamento de massa em corte de estrada	458874 7519313	Pastagem	Terço médio	Convexa	49,46
D7	Deslocamento de massa em corte de estrada	458254 7519469	Pastagem	Terço médio	Convexa	62,4
D8	Deslocamento de massa em corte de estrada	456987 7520538	Pastagem	Terço médio	Convexa	52,79
D9	Deslocamento de massa em encosta	457098 7520594	Pastagem	Terço superior	Convexa	67,07

<b>Código</b>	<b>Degradação</b>	<b>Coordenadas 23 K - UTM</b>	<b>Local</b>	<b>Posição na encosta</b>	<b>Forma da encosta</b>	<b>Dec.<sup>1</sup> (%)</b>
D10	Deslocamento de massa em talude de corte	454355 7521477	Área Antrópica	Terço médio	Convexa	58,61
D11	Deslocamento de massa em corte de estrada	456604 7520062	Pastagem	Terço superior	Côncava	65,87
D12	Deslocamento de massa em encosta	456927 7519500	Pastagem	Terço superior	Convexa	65,39
D13	Deslocamento de massa em corte de estrada	458671 7519899	Pastagem	Terço médio	Côncava	54,57
D14	Deslocamento de massa em encosta	459186 7522008	Pastagem	Terço superior	Côncava	61,76
D15	Deslocamento de massa em encosta	457524 7518828	Pastagem	Terço médio	Côncava	62,12
D16	Erosão laminar	457355 7519534	Pastagem	Terço inferior	Côncava	54,08
D17	Deslocamento de massa em encosta	455438 7519865	Pastagem	Terço superior	Convexa	69,84
D18	Erosão em sulcos	453150 7520992	Área de Empréstimo	Terço inferior	Côncava	44,28
D19	Deslocamento de massa em talude de corte	452975 7521268	Reflorestamento	Terço superior	Convexa	60,78
D20	Deslocamento de massa em talude de corte	459186 7520482	Reflorestamento	Terço superior	Convexa	64,49

<sup>1</sup>Dec: Declividade.

As áreas degradadas ocorreram, predominantemente, em pastagens, forma de uso do solo dominante na bacia (49,8%, Figura 5.22). Apesar de a pecuária extensiva ser a principal atividade econômica na zona rural, ela é praticada em condições inadequadas, sem nenhuma técnica de manejo conservacionista. Esse fato tem influência direta no atual nível de degradação em que se encontram as pastagens da bacia, sendo muito comum a ocorrência de erosão laminar e trilhas de movimentação do gado.

Diversos autores estudaram a relação entre o tipo de uso/cobertura com a ocorrência de processos erosivos (SOUSA e LIMA, 2007; SANTOS, BAYER e CARVALHO, 2008; TEIXEIRA e ROMÃO, 2009; CASTRO, NEVES, *et al.*, 2010). De acordo com Guerra (1998), a remoção da cobertura vegetal causa alterações hidrológicas no solo, diminuindo o tempo de concentração da água, aumento do deflúvio e redução acentuada, mesmo que temporária, da permeabilidade do solo à água, fatores que favorecem o início do processo erosivo.

A remoção da cobertura vegetal, além de promover o aumento do escoamento superficial, favorece os deslocamentos de massa quando há infiltração excessiva de água nos

planos de cisalhamento. Destaca-se, ainda, que a vegetação rasteira que cobre áreas de pastagens (implantadas após desmatamentos), apesar de promover a cobertura do solo, não evita os deslocamentos, especialmente em áreas de altos declives. Essa vegetação possui biomassa bastante reduzida, diminuindo a capacidade de retenção de água, além disso, o reduzido sistema radicular não apresenta considerável reforço mecânico.

Em relação a curvatura vertical da encosta, foi observado que 13 das 20 áreas degradadas ocorreram em encosta com forma convexa (Tabela 5.1). Esse resultado é semelhante aos obtidos por Sanchez, Júnior, *et al.* (2009), em estudo da variabilidade espacial dos fatores de erosão em diferentes pedoformas em cultivo de cana-de-açúcar (Catanduva/SP), onde as maiores perdas de solo, risco de erosão, potencial natural de erosão e menor espessura do solo ocorreram na pedoforma convexa. A pedoforma convexa favorece a divergência de águas, com erosão uniforme e laminar e retirada de material do sistema, enquanto que a pedoforma côncava favorece a convergência das águas levando a uma erosão mais localizada com tendência a formação de voçorocas e sulcos (RESENDE, CURI, *et al.*, 2007).

A declividade é outro fator topográfico relevante na caracterização das áreas degradadas analisadas no presente estudo. A maior incidência de processos de degradação foi registrada sobre relevo montanhoso, que abrange declividades entre 45 e 70% (LEPSCH, 1991). Nesse relevo o escoamento superficial é muito rápido, favorecendo um maior arraste de materiais na paisagem, e os solos, extremamente susceptíveis a erosão hídrica.

Foi observado que 16 das 20 áreas degradadas estavam em locais com declividades superiores a 50%, sendo que os deslocamentos de massa ocorreram em áreas com declive médio de 61%.

Além do uso e ocupação e dos fatores topográficos, as características dos solos também contribuem para a maior ou menor susceptibilidade dos terrenos a erosão e/ou deslizamentos. Cambissolo Háplico e Argissolo, nas subordens Vermelho e Vermelho-Amarelo, constituíram as classes de solo, em que foram registradas as áreas degradadas levantadas na área de estudo.

De acordo com Lima (2012), na sub-bacia do ribeirão José Pereira os Cambissolos Háplicos ocorrem em relevo montanhoso, onde há intenso processo de rejuvenescimento, o que não permite uma boa estruturação do solo. Esse fato, juntamente com a grande porcentagem de silte dos cambissolos (Tabela 5.2 e Tabela 5.3), influencia no estabelecimento de processos erosivos. Já os argissolos ocorrem em relevo ondulado e forte ondulado, apresentam textura média nos horizontes superficiais e argilosa nos subsuperficiais, em

função da lessivagem, que proporcionou relação textural B/A superior a 1,7 (Tabela 5.2 e Tabela 5.3). O incremento de argila em profundidade, especialmente, quando há mudança textural abrupta, favorece os processos erosivos, devido à saturação das camadas superficiais (textura média), iniciando o escoamento superficial. Todavia, a mudança textural abrupta ocorreu somente em três das treze áreas levantadas em argissolos, indicando que as características dos argissolos não podem ser utilizadas individualmente para a explicação dos processos de degradação estudados.

Santos, Bayer e Carvalho (2008), constataram que grande parte dos terrenos inseridos na bacia hidrográfica do rio dos Bois (Goiânia/GO), são moderadamente susceptíveis a erosão, pois apresentam problemas de conservação devido, sobretudo, ao tipo de solo, cambissolos e argissolos associados a Neossolos Litólicos, em relevo irregular e com declives acentuados. Esse contexto é semelhante ao que ocorre na sub-bacia do ribeirão José Pereira, que aliado a outros fatores, pode auxiliar no entendimento dos processos de degradação estudados.

Os deslocamentos de massa representaram 80% das degradações avaliadas, ocorrendo em encostas e, predominantemente, em cortes de estradas, na área rural, e em taludes de corte, na área urbana (Tabela 5.1).

#### 5.1.1. Deslocamentos de Massa em Cortes de Estradas/Taludes

As estradas vicinais situadas na sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira são de baixo padrão construtivo, não possuem revestimento primário, tampouco sistemas de drenagem. As manutenções são mínimas, em geral, no período chuvoso quando as vias são bloqueadas por deslocamentos de massas.

Diversos estudos associaram a construção e manutenção inadequadas de estradas não pavimentadas à instalação de processos erosivos e consequente perda de solo (NETTO e SOBREIRA, 2006; SOUSA e LIMA, 2007; TEIXEIRA e ROMÃO, 2009; OLIVEIRA, SILVA, *et al.*, 2010; FERREIRA, SILVA, *et al.*, 2011; OLIVEIRA, SILVA, *et al.*, 2012).

Oliveira, Silva, *et al.* (2010) registraram perdas de solo de 820 kg/m<sup>2</sup> em encostas e taludes de estradas florestais na região do Vale do Rio Doce/MG, sendo que, a maior parte das perdas foi proveniente de deslocamentos de massa.

O tráfego, quer seja de animais, maquinários e automóveis, causa a compactação das estradas não pavimentadas, e, em eventos de chuva, a água que se acumula nas margens é direcionada morro abaixo, danificando acostamentos, taludes de corte e aterro.

A execução de taludes de cortes e de aterros em solos propicia o surgimento de superfícies mais frágeis devido, ora à exposição do solo, ora às deficiências comumente resultantes da construção, como altos declives. Esses aspectos associados, geralmente, à falta de proteção superficial e à inexistência ou ineficácia de sistema de drenagem podem desencadear processos erosivos.

Portanto, com base nos estudos correlatos discutidos acima e nas observações realizadas em campo, é verificado que os deslocamentos de massa em cortes de estradas na bacia do ribeirão José Pereira são desencadeados pela interação de três fatores primordiais: ausência de sistema de drenagem, exposição de superfícies frágeis do solo e ausência de recuo da encosta até o ângulo de repouso.

## **5.2. Descrição das Áreas Degradadas**

### **5.2.1. Área Degradada D1**

Trata-se de um deslocamento de massa em corte de estrada, localizado na parte alta da bacia, próximo a REBIO Serra dos Toledos. A pecuária extensiva é a principal forma de uso da área, sendo comum a passagem de gado na estrada, causando a compactação da via pelo pisoteio.

Devido à compactação da estrada, durante eventos de chuvas erosivas, provavelmente, há o aumento do escoamento superficial que se concentra na base do talude, removendo material do horizonte C (exposto pelo corte), causando a desestabilização do talude e, conseqüentemente, o deslocamento de massa (Figura 5.2). A área degradada ocorre no terço médio da encosta, com forma convexa, em Cambissolo Háplico e na declividade de aproximadamente 52%.



**Figura 5.2:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D1.

#### 5.2.2. Área Degradada D2

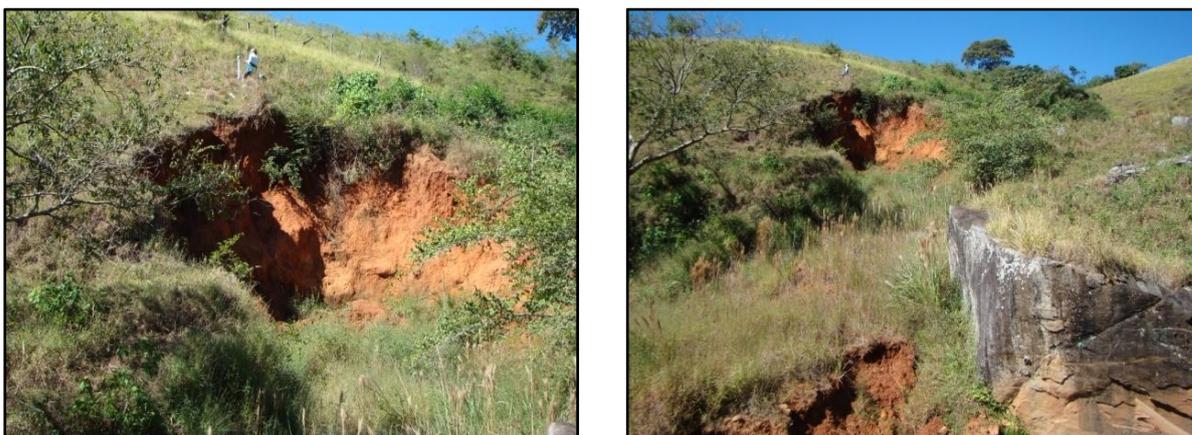
Essa área é caracterizada por erosão em sulcos, ocorrida em pastagem, no terço inferior da encosta, com forma convexa, em Argissolo Vermelho-Amarelo e na declividade de 34,12%. O processo erosivo foi originado por meio da concentração de escoamento superficial em caminho preferencial do gado, o que causou o aprofundamento dos sulcos e a remoção de grande quantidade de solo (Figura 5.3).



**Figura 5.3:** Erosão em sulcos associada à erosão laminar em pastagem, área degradada D2.

### 5.2.3. Área Degradada D3

Trata-se de uma voçoroca, localizada em área de pastagem, na porção sudoeste da bacia, no terço inferior da encosta, com forma côncava, em Argissolo Vermelho e na declividade de 36%. A voçoroca pode ter sido ocasionada por meio do entalhamento da rede de drenagem que corre na base da encosta (Figura 5.4).



**Figura 5.4:** Voçoroca em área de pastagem, área degradada D3.

### 5.2.4. Área Degradada D4

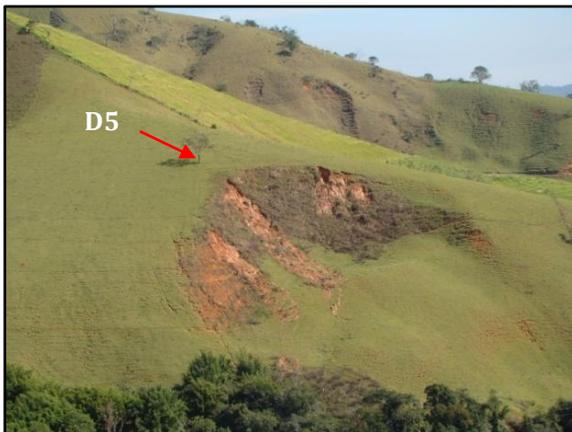
Essa área degradada é o primeiro de três deslocamentos de massa, situados em área de pastagem, no terço inferior da encosta, com forma convexa, em Cambissolo Háplico e na declividade de, aproximadamente, 56%. Possivelmente, o deslocamento tenha sido deflagrado por meio da ação conjunta da precipitação, alta declividade e menor profundidade efetiva do solo (Figura 5.5).



**Figura 5.5:** Deslocamento de massa em encosta, área degradada D4.

#### 5.2.5. Área Degradada D5

É caracterizada por um deslocamento de massa reincidente (Figura 5.6). A degradação está localizada em área de pastagem, nos terço médio da encosta, com forma convexa, em Argissolo Vermelho-Amarelo e na declividade de 70,9%. Foi observada a atuação da erosão hídrica, na forma de sulcos, sobre o material exposto pelo deslocamento de massa.



**Figura 5.6:** Deslocamento de massa em encosta, área degradada D5.

#### 5.2.6. Área Degradada D6

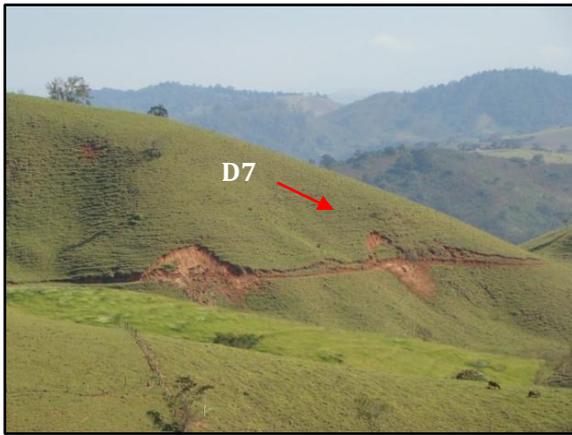
Essa área é representada por um deslocamento de massa em corte de estrada, situado em área de pastagem, sobre Argissolo Vermelho-Amarelo, na declividade de 49,4%. Em campo, foi verificado que o corte do talude expôs o horizonte C e também o saprolito. A pouca estruturação dos materiais dessas camadas, juntamente com o fluxo de escoamento, em dias de chuva, na base do talude, contribuíram para a desestabilização e consequente deslocamento (Figura 5.7).



**Figura 5.7:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D6.

#### 5.2.7. Área Degradada D7

Assim como a D6, a área degradada D7 é também um deslocamento de massa em corte de estrada, realizado no terço médio de encosta, com forma convexa, na declividade de 62,4% e em terreno utilizado para pastagem, onde ocorre Cambissolo Háplico (Figura 5.8).



**Figura 5.8:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D7.

#### 5.2.8. Área Degradada D8

Essa área também é um deslocamento de massa em corte de estrada, na declividade de aproximadamente 53%, em área de pastagem sobre Argissolo (Figura 5.9). A estrada não possui sistema de drenagem e em períodos de chuva, a água se concentra nas margens da via e no sopé do talude. Além disso, verifica-se que o ângulo de recuo está alto.



**Figura 5.9:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D8.

#### 5.2.9. Área Degradada D9

Trata-se de um deslocamento de massa em processo de estabilização, no terço superior da encosta, em área de pastagem, sobre Argissolo Vermelho-Amarelo e na declividade de 67,1% (Figura 5.10). Na superfície das escarpas do deslocamento há indícios de erosão hídrica.



**Figura 5.10:** Deslocamento de massa em processo de estabilização, área degradada D9.

#### 5.2.10. Área Degradada D10

Essa área é caracterizada por deslocamento de massa em talude artificial, localizado na porção baixa da bacia, na área urbana, em Argissolo Vermelho e na declividade de 58,6% (Figura 5.11). A pouca estruturação dos materiais do horizonte C e saprolito, expostos durante o corte do talude, prejudicou o estabelecimento da vegetação. A ausência de cobertura vegetal contribuiu para a instalação de processos erosivos e consequente deslocamento de massa.



**Figura 5.11:** Deslocamento de massa em talude artificial, área degradada D10.

### 5.2.11. Área Degradada D11

É representada por deslocamento de massa em corte de estrada, no terço superior de encosta com forma côncava, na declividade de 65,8% e em área de pasto abandonado, onde ocorre Cambissolo Háptico (Figura 5.12).



**Figura 5.12:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D11.

### 5.2.12. Área Degradada D12

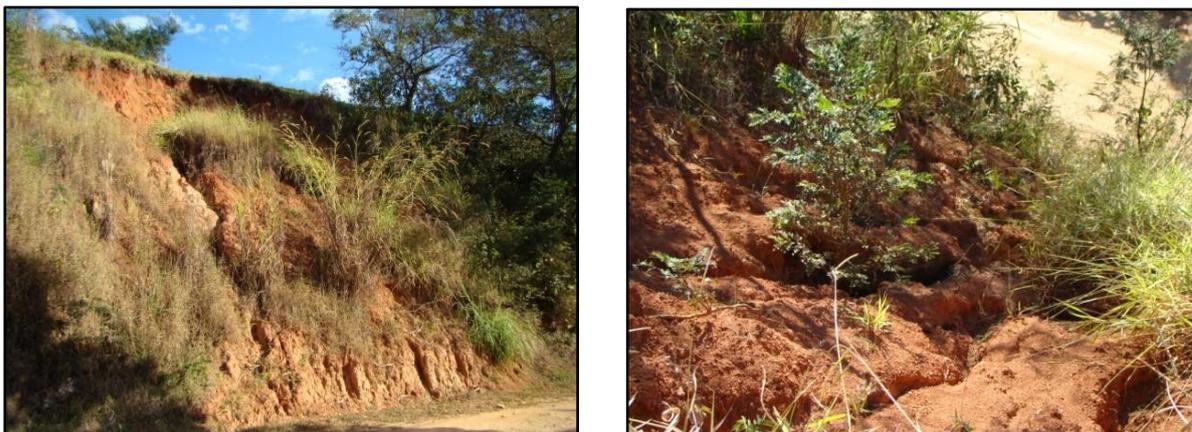
Trata-se de um deslocamento de massa em encosta, com forma convexa, coberta por pastagem. A degradação ocorreu no terço superior da encosta, com declividade de 65,4%, sobre Cambissolo Háptico (Figura 5.13).



**Figura 5.13:** Deslocamento de massa em encosta, área degradada D12.

### 5.2.13. Área Degradada D13

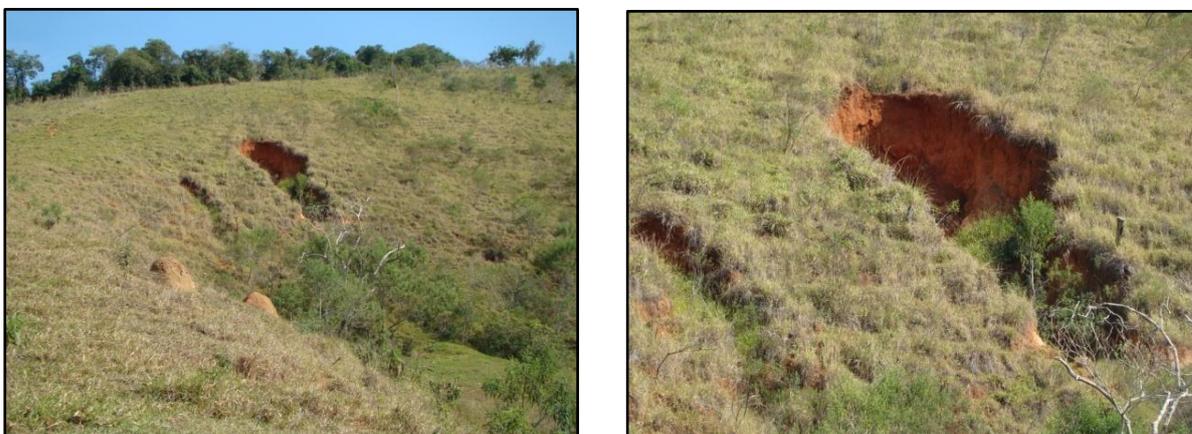
Essa área é representada por um deslocamento de massa em corte de estrada, situada em pastagem, na declividade de 54,5% e em Argissolo Vermelho-Amarelo. Na massa de solo deslocada há ocorrência de erosão hídrica na forma de sulcos (Figura 5.14).



**Figura 5.14:** Deslocamento de massa em corte de estrada, área degradada D13.

### 5.2.14. Área Degradada D14

Trata-se de um deslocamento de massa, situado no terço superior de encosta, com forma côncava. Ocorre em área de pastagem, sobre Argissolo Vermelho e na declividade de aproximadamente 62% (Figura 5.15). Essa feição erosiva está evoluindo para voçoroca.



**Figura 5.15:** Deslocamento de massa em área de pastagem, área degradada D14.

### 5.2.15. Área Degradada D15

O deslocamento de massa em encosta representa a área degradada 15, localizada no terço médio da encosta, com forma côncava, em área de pastagem sobre Cambissolo Háplico e na declividade de 62,1% (Figura 5.16).



**Figura 5.16:** Deslocamento de massa em encosta, área degradada D15.

### 5.2.16. Área Degradada D16

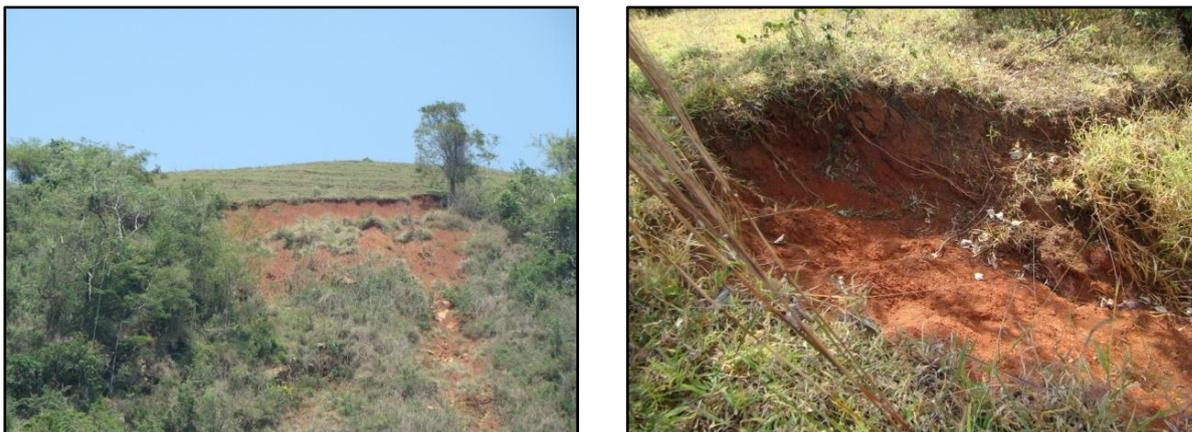
Trata-se de erosão laminar situada no terço inferior de encosta, com forma côncava. Ocorre em pastagem, sobre Argissolo Vermelho e na declividade de 54,1% (Figura 5.17). A área ocorre em um dos setores da bacia com maior número de degradações em pastagem.



**Figura 5.17:** Erosão laminar, área degradada D16.

### 5.2.17. Área Degradada D17

Essa área é caracterizada por deslocamento de massa, em terço superior da encosta, de forma convexa, em Cambissolo Háplico, na declividade de cerca de 70% e em área de pastagem (Figura 5.18).



**Figura 5.18:** Deslocamento de massa em encosta, área degradada D17.

### 5.2.18. Área Degradada D18

Trata-se de erosão em sulcos em área de empréstimo abandonada, localizada na porção baixa da bacia, em Argissolo Vermelho e na declividade de 44,3% (Figura 5.19). Verifica-se que essa feição erosiva está evoluindo para uma voçoroca.

Na área urbana é muito comum a ocorrência desse tipo de erosão em outras áreas de empréstimos, taludes artificiais e em terrenos recém-abertos, impactos resultantes do franco processo de expansão urbana na bacia.



**Figura 5.19:** Erosão em sulcos em área de empréstimo abandonada, área degradada D18.

#### 5.2.19. Área Degradada D19

Essa área é caracterizada como um deslocamento de massa em talude de corte, para abertura de loteamento (Figura 5.20). A degradação ocorre no terço superior da encosta, com forma convexa, na declividade de, aproximadamente, 64,5%. A área é coberta por mata de reflorestamento, sobre Argissolo Vermelho. Atualmente a massa deslocada sofre erosão na forma de sulcos.



**Figura 5.20:** Deslocamento de massa em talude de corte, área degradada D19.

### 5.2.20. Área Degradada D20

A área degradada D20 é caracterizada por deslocamento de massa, deflagrado por talude de corte, em Argissolo Vermelho e na declividade de 64,5% (Figura 5.21). Semelhantemente à Área D19, ocorre mata de reflorestamento.



**Figura 5.21:** Deslocamento de massa em talude, área degradada D20.

## 5.3. Atributos Físicos e Químicos

### 5.3.1. Deslocamentos de Massa

Das 20 áreas levantadas, 16 são deslocamentos de massa e ocorrem, sobretudo, em encostas e taludes de corte (de estradas e para abertura de loteamentos), em declividades superiores a 60% (Tabela 5.1). Estão situados em Cambissolo Háplico e Argissolo, nas subordens Vermelho e Vermelho-Amarelo (Tabela 5.2). Além disso, a maioria dos deslocamentos está presente em áreas utilizadas para pecuária extensiva em condição de baixo nível conservacionista, contribuindo para o aumento da degradação na sub-bacia.

Foi verificado que nos deslocamentos de massa presentes em Cambissolo Háplico, em geral, o solo apresentou textura média de 0 a 60 cm, tornando-se argilosa e, muito argilosa em alguns casos, a partir de 60 cm (Tabela 5.2). O incremento no teor de argila em profundidade pode ter influência sobre a condutividade da água que, com exceção de D17, foi classificada como Lenta a Moderada, na profundidade de 10-30 cm e Lenta nas camadas de

30-90 cm. Outro atributo que também influencia na condutividade da água é a distribuição dos poros, especialmente, macroporos, que representaram, em média, 15% do volume de solo.

Os valores de DMG, que mensura a estabilidade de agregados, reduziram em profundidade, assim como os valores de COT, entretanto, a redução não foi significativa, e o DMG médio superior a 3 mm indica boa agregação do solo. Esse dado é corroborado pelos altos valores de IEA, cuja média foi de 0,9.

Dentre os sete deslocamentos de massa ocorridos em Cambissolo, apenas um, D17, mostrou comportamento divergente com relação à condutividade hidráulica saturada, cujos valores foram superiores a  $80 \text{ mm.h}^{-1}$ . O maior valor,  $468,13 \text{ mm.h}^{-1}$ , que configura permeabilidade rápida, foi registrado na profundidade de 10 a 30 cm (textura média), reduzindo cerca de cinco vezes a partir de 60 cm, quando a textura torna-se argilosa e a permeabilidade moderada. Os altos valores de condutividade hidráulica nas camadas superficiais podem estar relacionados à presença de fendas ou erosão em túnel.

Já os deslocamentos de massa presentes em Argissolo, nas subordens Vermelho e Vermelho-Amarelo, apresentaram características semelhantes aos deslocamentos ocorridos em Cambissolo Háplico. Foi verificado incremento de argila em profundidade. Em geral, as camadas superficiais (0-30 cm) possuem textura média, tornando-se argilosa e muito argilosa, nas camadas mais profundas (30-90 cm) (Tabela 5.2).

Os valores de COT variaram de bom, nas camadas superficiais, para médio, nas camadas mais profundas, com destaque para a área D20, cujo valor de COT foi superior a 4 dag/kg nos primeiros dez centímetros do solo. Essa área é coberta por mata de reflorestamento e, em campo, foi verificado a presença de serrapilheira que contribui para os valores consideráveis de matéria orgânica. Os índices de estabilidade de agregados foram bons, com média de 0,9. Os valores de DMG não divergiram significativamente em profundidade e, em geral, foram superiores a 3 mm.

**Tabela 5.2:** Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como deslocamentos de massa.

Área	Prof. (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Cond. (mm/h)	Estabilidade Via Úmida (mm)		Estabilidade Via Seca (mm)		IEA <sup>3</sup>	COT <sup>4</sup> (dag/kg)	Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)	Dens.Solo (g/cm <sup>3</sup> )
						DMG <sup>1</sup>	DMP <sup>2</sup>	DMG	DMP						
<i>Cambissolo Háptico</i>															
D1	0 - 10	47,0	39,1	13,9	-	4,67	4,70	4,50	4,75	0,99	3,05	-	-	-	-
	10 - 30	52,3	34,5	13,2	8,82	4,72	4,68	4,23	4,68	1,00	3,05	17,1	35,6	52,7	1,14
	30 - 60	45,7	33,2	21,1	4,41	3,88	4,66	4,54	4,80	0,97	2,83	18,9	35,1	54,0	1,12
	60 - 90	45,0	36,7	18,3	11,03	3,71	4,45	4,78	4,78	0,93	2,53	17,6	31,1	48,6	1,08
D4	0 - 10	16,7	44,1	39,3	-	3,48	4,60	4,86	4,93	0,93	2,79	-	-	-	-
	10 - 30	42,7	33,0	24,3	52,95	3,91	4,69	4,93	4,97	0,94	1,91	10,1	31,2	41,2	1,43
	30 - 60	53,7	25,6	20,7	15,44	1,59	2,59	4,86	4,95	0,52	1,62	16,8	30,1	47,0	1,20
	60 - 90	61,0	23,2	15,8	15,44	3,30	4,46	4,78	4,91	0,91	1,85	16,5	34,5	51,0	1,28
D7	0 - 10	14,0	44,8	41,2	-	4,50	4,77	4,42	4,77	1,00	3,54	-	-	-	-
	10 - 30	19,0	43,7	37,3	1,22	4,67	4,79	4,84	4,91	0,98	2,82	11,3	38,8	50,1	1,35
	30 - 60	21,0	37,6	41,4	11,03	3,96	4,60	4,79	4,92	0,93	1,76	11,3	38,0	49,3	1,43
	60 - 90	40,0	31,2	28,8	13,24	4,23	4,68	4,93	4,94	0,95	1,72	9,8	34,3	44,1	1,15
D11	0 - 10	22,7	38,2	39,2	-	2,71	4,30	4,93	4,97	0,86	3,03	-	-	-	-
	10 - 30	29,0	41,5	29,5	48,53	3,09	4,41	4,91	4,96	0,89	2,33	12,8	37,0	49,7	1,32
	30 - 60	33,3	42,5	24,2	22,06	2,86	4,25	4,83	4,93	0,86	1,63	11,6	37,7	49,3	1,43
	60 - 90	41,8	28,0	30,2	6,62	2,20	3,77	4,83	4,84	0,78	1,67	8,3	38,8	47,2	1,44
D12	0 - 10	15,0	51,4	33,6	-	3,40	4,50	4,88	4,95	0,91	3,04	-	-	-	-
	10 - 30	24,0	49,9	26,1	33,09	3,50	4,52	4,91	4,96	0,91	2,10	16,0	34,4	50,4	1,40
	30 - 60	41,5	39,4	19,1	13,24	2,93	4,29	4,92	4,97	0,86	1,99	14,0	33,1	47,1	1,37
	60 - 90	53,7	30,8	15,6	19,85	2,27	3,62	4,91	4,97	0,73	1,75	36,1	31,8	67,9	1,20

**Tabela 5.2(Cont.):** Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como deslocamentos de massa.

Área	Prof. (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Cond. (mm/h)	Estabilidade Via Úmida (mm)		Estabilidade Via Seca (mm)		IEA	COT (dag/kg)	Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)	Dens.Solo (g/cm <sup>3</sup> )
						DMG	DMP	DMG	DMP						
						<i>Cambissolo Háplico</i>									
D15	0 - 10	24,0	46,1	29,9	-	2,83	4,34	4,67	4,86	0,89	3,96	-	-	-	-
	10 - 30	46,7	38,3	15,0	19,85	3,11	4,44	4,76	4,90	0,91	2,64	16,0	35,7	51,7	1,35
	30 - 60	69,5	25,5	5,0	6,76	2,64	4,09	4,28	4,75	0,86	2,27	25,2	30,5	55,7	1,06
	60 - 90	62,7	27,4	9,9	13,24	2,12	3,52	4,48	4,77	0,74	1,93	22,0	30,9	52,9	1,04
D17	0 - 10	25,0	34,1	40,9	-	4,57	4,84	4,92	4,97	0,97	4,07	-	-	-	-
	10 - 30	31,7	31,5	36,9	468,13	4,08	4,63	4,83	4,93	0,94	2,38	8,5	40,5	49,1	1,53
	30 - 60	27,3	32,5	40,1	176,49	4,33	4,74	4,90	4,96	0,96	2,56	10,9	35,4	46,3	1,33
	60 - 90	48,0	21,7	30,3	88,24	3,31	4,20	4,78	4,91	0,86	1,50	15,1	36,1	51,2	1,28
<i>Argissolo Vermelho-Amarelo</i>															
D5	0 - 10	31,0	48,5	20,5	-	4,55	4,84	5,05	4,99	0,97	3,52	-	-	-	-
	10 - 30	30,0	44,6	25,4	11,03	4,36	4,76	4,88	4,95	0,96	2,42	11,1	36,0	47,1	1,31
	30 - 60	33,7	44,5	21,8	8,82	4,32	4,73	4,97	4,95	0,95	2,68	1,0	43,1	44,0	1,28
	60 - 90	51,0	28,2	20,8	24,27	4,32	4,70	4,96	4,95	0,95	1,88	20,2	32,6	52,8	1,20
D6	0 - 10	28,0	54,5	17,5	-	4,34	4,73	4,66	4,82	0,98	3,14	-	-	-	-
	10 - 30	33,0	48,8	18,2	8,82	4,64	4,85	4,87	4,93	0,98	2,39	12,8	35,5	48,4	1,36
	30 - 60	45,3	35,6	19,1	37,50	3,42	4,29	4,78	4,89	0,88	2,20	14,6	35,0	49,6	1,17
	60 - 90	53,7	33,1	13,3	33,09	2,99	3,98	3,95	4,45	0,89	1,96	23,7	33,5	57,2	1,03
D8	0 - 10	19,0	24,5	56,5	-	4,71	4,90	4,90	4,96	0,99	4,76	-	-	-	-
	10 - 30	28,7	20,8	50,5	11,03	4,17	4,69	4,28	4,81	0,98	3,02	17,3	47,2	64,4	1,21
	30 - 60	44,0	19,6	36,4	17,65	2,24	3,34	4,17	4,79	0,70	2,53	7,9	44,1	52,0	1,28
	60 - 90	47,0	18,5	34,5	2,98	4,00	4,56	3,41	4,56	1,00	2,22	8,4	46,9	55,4	1,23

**Tabela 5.2(Cont.):** Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como deslocamentos de massa.

Área	Prof. (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Cond. (mm/h)	Estabilidade Via Úmida (mm)		Estabilidade Via Seca (mm)		IEA	COT (dag/kg)	Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)	Dens.Solo (g/cm <sup>3</sup> )
						DMG	DMP	DMG	DMP						
						<i>Argissolo Vermelho-Amarelo</i>									
D9	0 - 10	26,7	33,6	39,7	-	2,92	4,30	4,78	4,91	0,88	3,33	-	-	-	-
	10 - 30	40,7	29,1	30,2	28,68	2,62	4,10	4,65	4,85	0,84	2,50	9,3	40,5	49,8	1,36
	30 - 60	62,3	21,6	16,0	33,09	1,80	3,28	4,79	4,89	0,67	2,08	17,8	35,5	53,3	1,14
	60 - 90	65,0	14,9	20,1	8,82	1,01	2,11	4,70	4,90	0,43	1,91	13,2	41,1	54,3	1,16
D13	0 - 10	24,0	50,4	25,6	-	4,34	4,82	4,93	4,97	0,97	2,83	-	-	-	-
	10 - 30	40,7	40,6	18,8	54,27	4,02	4,69	4,90	4,96	0,95	2,09	12,2	39,7	51,9	1,37
	30 - 60	50,7	26,2	23,2	136,78	3,84	4,63	4,77	4,90	0,94	1,82	14,8	35,1	49,8	1,17
	60 - 90	62,3	24,1	13,6	30,89	3,21	4,33	4,84	4,93	0,88	1,64	19,6	37,1	56,8	1,12
<i>Argissolo Vermelho</i>															
D10	0 - 10	26,7	26,7	46,6	-	3,40	4,56	4,93	4,98	0,92	3,52	-	-	-	-
	10 - 30	47,3	25,4	27,3	6,62	3,24	4,43	4,90	4,95	0,90	2,02	12,1	40,4	52,5	1,28
	30 - 60	43,0	22,1	34,9	39,71	2,76	4,09	4,41	4,77	0,86	1,41	9,7	40,2	50,0	1,25
	60 - 90	39,5	23,3	37,2	28,68	1,84	3,58	3,38	4,37	0,82	1,29	17,4	33,9	51,3	0,96
D14	0 - 10	26,0	43,6	30,4	-	4,17	4,79	4,94	4,98	0,96	3,28	-	-	-	-
	10 - 30	41,0	36,7	22,3	44,12	3,98	4,70	4,95	4,98	0,94	2,22	16,2	31,6	47,8	1,16
	30 - 60	60,3	23,4	16,3	44,12	2,79	4,03	4,96	4,98	0,81	1,87	14,9	31,8	46,6	1,03
	60 - 90	67,0	20,8	12,2	202,96	3,18	4,24	4,96	4,98	0,85	1,66	19,6	31,3	50,9	0,91
D19	0 - 10	29,0	46,4	24,6	-	4,86	5,96	4,89	4,96	1,00	2,45	-	-	-	-
	10 - 30	30,7	33,3	36,1	11,03	4,53	4,81	4,99	4,96	0,97	1,85	19,9	32,6	52,5	1,09
	30 - 60	40,3	29,8	29,9	11,36	1,98	3,38	4,49	4,78	0,71	1,84	9,1	30,2	39,4	1,05
	60 - 90	48,7	26,9	24,4	15,44	2,85	3,90	4,81	4,81	0,81	1,50	9,6	29,9	39,6	1,05

**Tabela 5.2(Cont.):** Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como deslocamentos de massa.

Área	Prof. (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Cond. (mm/h)	Estabilidade Via Úmida (mm)		Estabilidade Via Seca (mm)		IEA	COT (dag/kg)	Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)	Dens.Solo (g/cm <sup>3</sup> )
						DMG	DMP	DMG	DMP						
						<i>Argissolo Vermelho</i>									
D20	0 - 10	15,0	46,2	38,8	-	4,84	4,95	4,83	4,93	1,00	4,72	-	-	-	-
	10 - 30	34,3	34,7	31,0	105,89	4,62	4,87	4,94	4,94	0,99	1,91	16,8	31,9	48,7	1,36
	30 - 60	35,7	28,7	35,6	44,12	4,67	4,85	4,98	4,94	0,98	2,13	11,5	33,7	45,2	1,38
	60 - 90	50,3	18,3	31,3	79,42	3,92	4,48	4,96	4,98	0,90	2,14	10,3	34,4	44,7	1,14

1 - DMG: Diâmetro Médio Geométrico, 2 - DMP: Diâmetro Médio Ponderado, 3 - IEA: Índice de Estabilidade de Agregados, 4 - COT: Carbono Orgânico Total.

### 5.3.2. Erosão Laminar, Erosão em Sulcos e Voçoroca

As áreas degradadas que apresentaram erosão laminar (D16) ou erosão em sulcos (D2 e D18) representam 10% das áreas caracterizadas, ocorrem em declividades variadas, em Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo. As áreas D2 e D16 são utilizadas para a pecuária extensiva, praticada sem técnicas de manejo e de conservação do solo. Já a área D18 é uma área de empréstimo abandonada e sem nenhuma medida de proteção.

A Área D2 está localizada em pastagem, sobre Argissolo Vermelho-Amarelo e na declividade de 34,12%. O solo apresentou textura argilosa em todas as profundidades, os melhores valores de densidade (inferiores a  $1 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e bons teores de COT, especialmente na camada superficial, o que está relacionado ao aporte de material orgânico fornecido pelas gramíneas. A porosidade total foi superior a 50% nas três profundidades, com macroporosidade média de 20% (Tabela 5.3). Os valores de DMG foram, em sua grande maioria, superiores a 4 mm, indicando boa agregação do solo, corroborada pelos altos valores do IEA. Já a condutividade hidráulica saturada foi classificada como Lenta, com valores inferiores a  $14 \text{ mm.h}^{-1}$ .

A Área D16 também está situada em pastagem, sobre Argissolo Vermelho e na declividade de 54,08%. Ao contrário da Área D2, em todas as profundidades a densidade do solo foi superior a  $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ , a macroporosidade inferior a 15%, com valor muito baixo na camada de 60-90 cm, o que, provavelmente, influenciou no reduzido valor de condutividade hidráulica saturada ( $0,81 \text{ mm.h}^{-1}$ ) registrada nessa profundidade (Tabela 5.3).

Diferentemente das áreas D2 e D16, a D18 é um área de empréstimo abandonada, cuja erosão em sulcos está evoluindo para voçoroca, devido ao intenso processo de erosão hídrica associado à ausência de cobertura vegetal, o que justifica os valores médios de carbono orgânico, inferiores a  $1,5 \text{ dag/kg}$  (Tabela 5.3). A porosidade total foi menor que 50% e a macroporosidade que 11%, o que pode comprometer a futura recuperação da área. De acordo com Souza e Alves (2003), valores de macroporosidade inferiores a 10%, tornam-se críticos para o crescimento e desenvolvimento radicular das plantas.

A área D3 representa a única voçoroca estudada na sub-bacia. Ocorre em área de pastagem, sobre Argissolo Vermelho e na declividade de 36%. Os teores de argila mostraram mudança textural abrupta, que pode estar relacionada à redução de, aproximadamente, 15 vezes nos valores de condutividade hidráulica. Na profundidade de 10-30 cm, a condutividade foi classificada como Lenta a Moderada, alternando para Muito Lenta, na camada de 60-90 cm (Tabela 5.3).

**Tabela 5.3:** Atributos físicos e químicos das áreas degradadas caracterizadas como erosão laminar, erosão em sulcos e voçoroca.

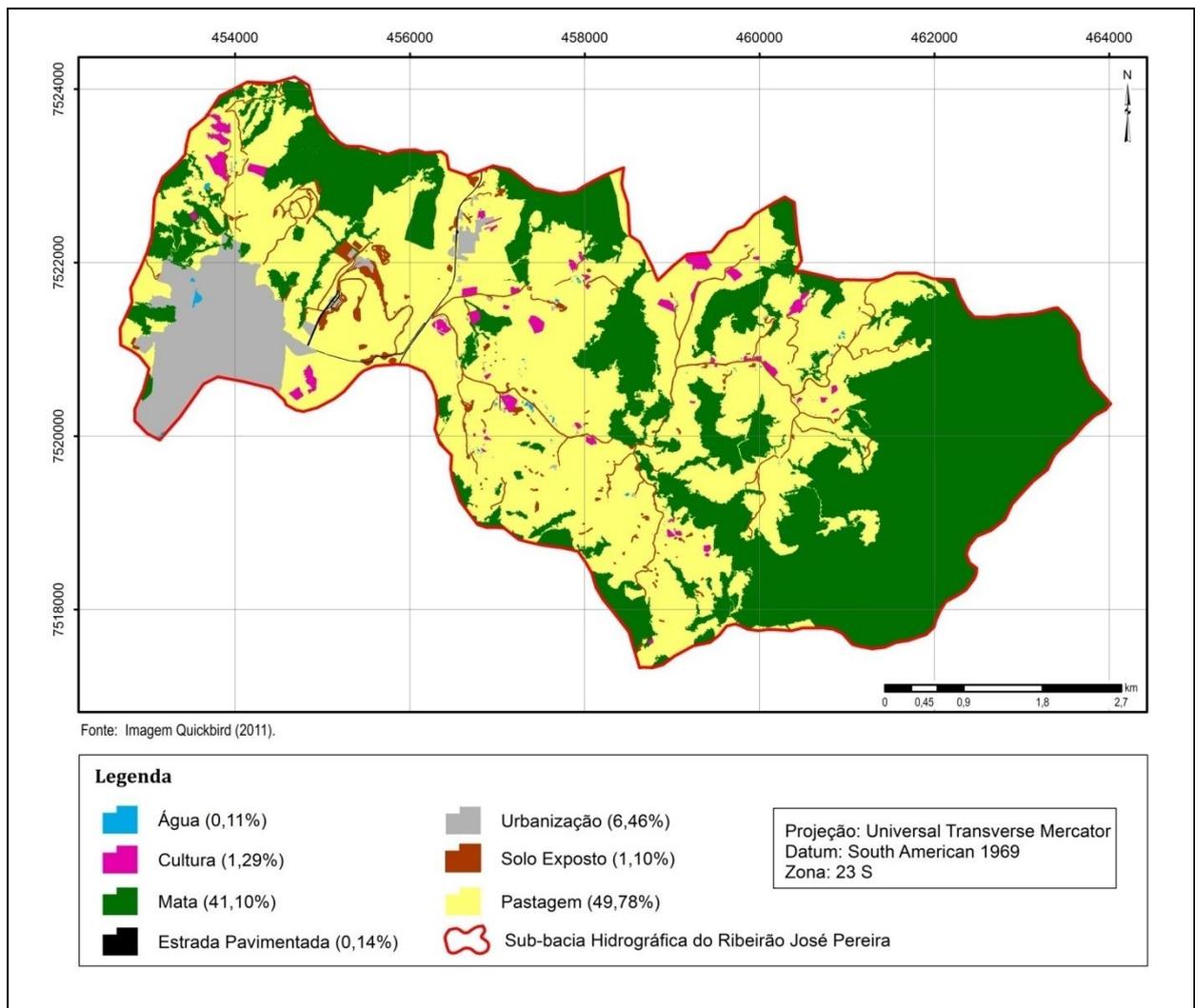
Área	Prof. (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Cond. (mm/h)	Estabilidade Via Úmida (mm)		Estabilidade Via Seca (mm)		IEA <sup>3</sup>	COT <sup>4</sup> (dag/kg)	Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)	Dens.Solo (g/cm <sup>3</sup> )
						DMG <sup>1</sup>	DMP <sup>2</sup>	DMG	DMP						
<i>Argissolo Vermelho-Amarelo</i>															
D2 <sup>(a)</sup>	0 - 10	47,7	41,3	11,0	-	4,36	4,38	3,70	4,38	1,00	5,07	-	-	-	-
	10 - 30	47,7	38,0	14,3	8,82	2,67	4,28	4,02	4,55	0,94	4,16	16,1	41,0	57,1	0,99
	30 - 60	58,3	36,0	5,7	13,24	2,16	4,02	4,08	4,59	0,88	3,13	21,9	33,7	55,5	0,82
	60 - 90	53,0	37,5	9,5	13,24	4,30	4,65	4,14	4,65	1,00	2,89	24,6	35,7	60,3	0,85
<i>Argissolo Vermelho</i>															
D3 <sup>(b)</sup>	0 - 10	12,0	59,1	28,9	-	2,87	4,37	4,99	4,97	0,88	3,34	-	-	-	-
	10 - 30	21,0	52,2	26,8	35,30	1,88	3,25	4,82	4,79	0,68	2,33	22,7	31,9	54,6	1,33
	30 - 60	50,3	32,1	17,6	13,24	1,16	2,32	4,94	4,99	0,47	2,16	25,0	26,5	51,5	1,28
	60 - 90	68,7	24,6	6,7	2,71	3,77	4,36	4,70	4,87	0,90	1,98	20,2	35,6	55,8	1,15
D16 <sup>(c)</sup>	0 - 10	37,3	42,1	20,6	-	3,07	4,22	4,92	4,93	0,86	2,34	-	-	-	-
	10 - 30	42,7	38,9	18,4	48,53	3,02	4,34	4,97	4,96	0,88	2,17	11,4	32,5	43,9	1,24
	30 - 60	62,3	26,7	10,9	8,82	2,25	3,58	4,76	4,90	0,73	2,06	14,2	36,7	50,9	1,23
	60 - 90	54,7	25,5	19,8	0,81	1,81	3,40	4,83	4,90	0,69	1,83	8,9	39,4	48,3	1,21
D18 <sup>(a)</sup>	0 - 10	33,7	41,3	25,0	-	3,59	4,51	4,53	4,74	0,95	1,55	-	-	-	-
	10 - 30	39,0	39,1	21,9	63,98	4,55	4,83	4,65	4,82	1,00	1,61	11,1	36,2	47,3	1,35
	30 - 60	56,3	25,5	18,2	141,19	3,61	4,34	4,76	4,88	0,89	1,45	10,3	38,1	48,4	1,27
	60 - 90	53,0	25,1	21,9	130,24	3,90	4,44	4,97	4,95	0,90	1,45	10,9	32,7	43,6	1,02

(a) Erosão em sulcos, (b) Voçoroca, (c) Erosão laminar. 1 - DMG: Diâmetro Médio Geométrico, 2 - DMP: Diâmetro Médio Ponderado, 3 - IEA: Índice de Estabilidade de Agregados, 4 - COT: Carbono Orgânico Total.

## 5.4. Uso e Ocupação x Capacidade de Uso da Terra

### 5.4.1. Uso e Ocupação do Solo

De acordo com o mapeamento de uso e ocupação do solo, as pastagens representam a forma de uso predominante na área de estudo, responsáveis por, aproximadamente, 50% da cobertura do solo (Figura 5.22 e Tabela 5.4). A pecuária leiteira, praticada de maneira extensiva, é a principal atividade econômica na área rural, abrangida pelas porções alta e média da sub-bacia.



**Figura 5.22:** Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

No atual cenário de exploração das pastagens na sub-bacia do ribeirão José Pereira não foram observadas práticas de manejo conservacionistas, como terraços, cordões de

isolamento e rotação de pastejo, além da adoção de queimadas, como prática de limpeza das pastagens, revelando que os agricultores que nelas trabalham contribuem para a degradação do ambiente, o que reflete a falta de informação e o baixo nível de consciência. Para Ferreira, Filho, *et al.* (2007), a insustentabilidade produtiva nos ecossistemas de pastagens torna-se mais crítica nas áreas de exploração extensiva, caracterizada pelo uso extrativista e pelo baixo nível tecnológico.

As áreas de mata ocupam cerca de 41% da sub-bacia, dos quais, aproximadamente metade são os remanescentes de Mata Atlântica protegidos pela REBIO Serra dos Toledos. O restante da vegetação está fragmentado e os remanescentes localizados, em geral, nas cabeceiras de drenagem.

A urbanização que engloba parte da cidade de Itajubá e as edificações ao longo da bacia, é a terceira forma de uso e representa 6,5% da área, especialmente, na porção baixa. O processo de urbanização na sub-bacia do ribeirão José Pereira está em franca expansão, sendo muito comum a ocorrência de loteamentos, áreas de empréstimo, abertura de vias e construção de residências, inclusive na área rural.

**Tabela 5.4:** Quantificação das formas de uso do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Água	4,49	0,11
Cultura	50,67	1,29
Estrada Pavimentada	5,65	0,14
Mata	1613,20	41,10
Pastagem	1953,61	49,78
Solo exposto	43,35	1,10
Urbanização	253,62	6,46
<i>Total</i>	<i>3924,61</i>	<i>100,00</i>

Ao contrário da pecuária, a agricultura é pouco praticada na sub-bacia, o que justifica a pequena representatividade das áreas de cultivo nas formas de uso e ocupação (1,29%). O plantio para comercialização em larga escala é raro, sendo muito comum o cultivo para subsistência.

Na classe solo exposto que ocupa 1,10% da sub-bacia, estão inseridas as estradas vicinais, as áreas de empréstimo, os deslizamentos e as áreas sem cobertura vegetal, principais fontes de sedimento para os cursos d'água da sub-bacia e, também, os principais focos de degradação.

A área de estrada pavimentada representa o trecho da rodovia estadual MGC-383 que corta a sub-bacia e, indiretamente, divide a área urbana da rural. A classe água abrange lagos e lagoas distribuídos na sub-bacia, sendo que grande parte é utilizada para piscicultura.

#### 5.4.2. Capacidade de Uso da Terra

A classificação das terras abrangidas pela sub-bacia, segundo o Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH, 1991), mostrou que as mesmas estão distribuídas no Grupo A, compreendendo a Classe IV, e Grupo B, comportando as Classes V, VI e VII (

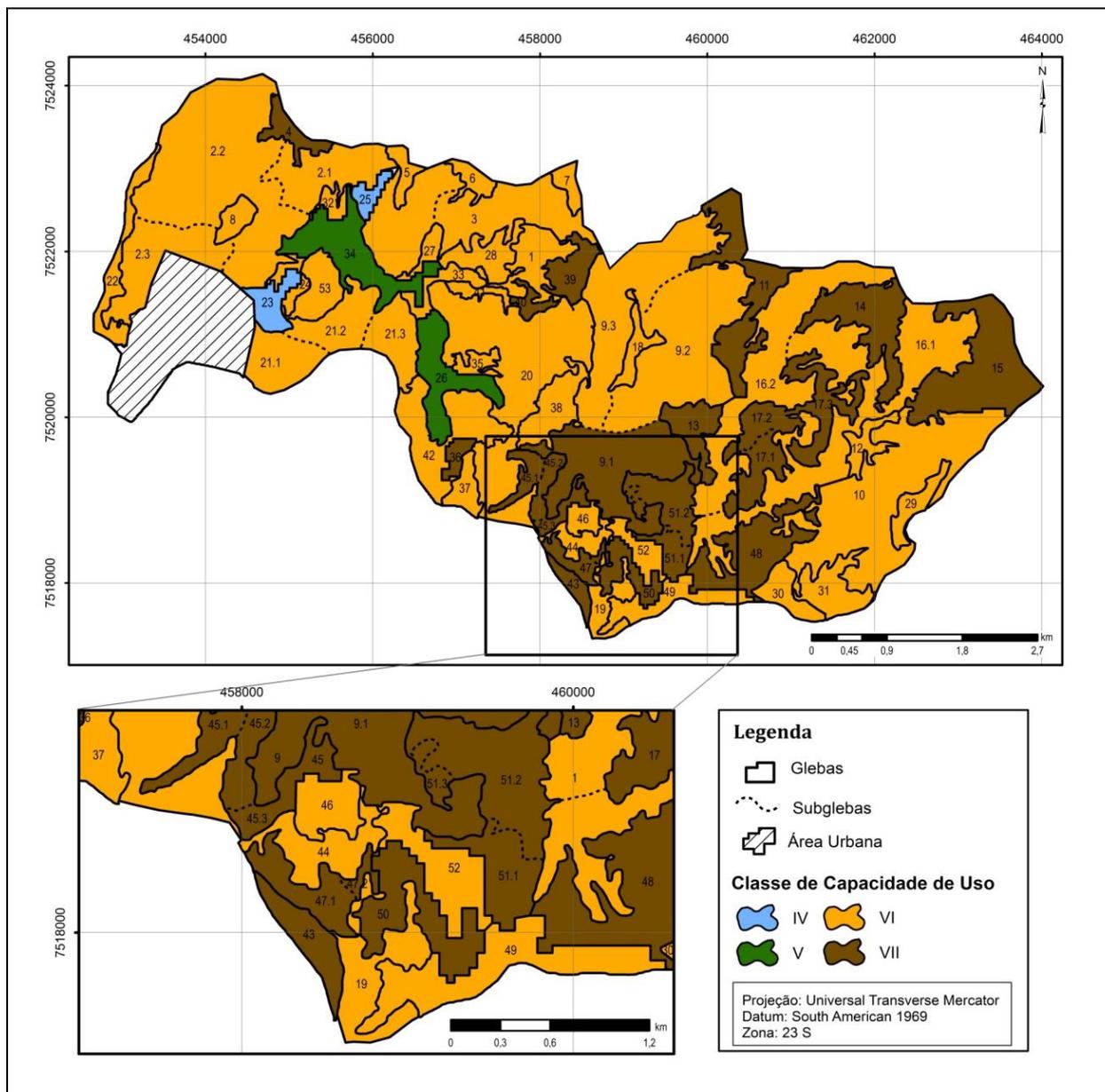
Figura 5.23 e Tabela 5.5).

De acordo com Lepsch (1991), o Grupo A envolve as terras passíveis de utilização com culturas anuais, culturas perenes, pastagens, reflorestamentos e vida silvestre. Já o Grupo B compreende as terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda aptas para pastagens, reflorestamentos e vida silvestre.

Por meio da combinação das classes de solo e de declividade e considerando a área mínima de 10 ha, foram determinadas 53 glebas, sendo que dez admitiram subglebas, em função, sobretudo, da presença de diferentes formas de erosão (Figura 5.23).

Das 53 glebas, 33, aproximadamente 71% da área, foram qualificadas na Classe VI, devido, principalmente, ao relevo fortemente ondulado, portanto, com limitação relacionada ao risco de erosão (declive acentuado), subclasse *e* (Tabela 5.5). As terras de Classe VI são adaptadas, em geral, para pastagens e ou reflorestamentos, com problemas simples de conservação, sendo cultiváveis apenas em casos especiais, com culturas permanentemente protetoras do solo (LEPSCH, 1991).

O relevo também foi fator primordial para qualificação de 16 glebas que representam 24,3% da bacia, na Classe VII (Tabela 5.5). Essas glebas estão em relevo montanhoso que também apresenta limitação associada à erosão (subclasse *e*), em virtude dos declives acentuados que propiciam deflúvios muito rápidos e podem contribuir para a ocorrência de erosão em sulcos.



**Figura 5.23:** Classificação da Capacidade de Uso da Terra na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

**Tabela 5.5:** Grupo, classe e subclasse de Capacidade de Uso na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

Grupo	Classe	Subclasse	Área (ha)	Área (%)
A	IV	e	12,43	0,33
	IV	a,s	25,16	0,67
B	V	a	139,71	3,73
	VI	e	2.658,33	70,99
	VII	e	908,79	24,27

Apenas duas glebas (n° 23 e 25, Apêndice II), cujas áreas simbolizam 1% da sub-bacia, foram qualificadas na Classe IV que abrange terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, pois apresentam sérios problemas de conservação (LEPSCH, 1991). A profundidade moderada e o baixo risco de inundação do Gleissolo Háptico, compreendido na Gleba 23, contribuíram para a determinação da Classe IV, subclasses *s* e *a*, respectivamente. Já na Gleba 25, o relevo colinoso foi determinante para a definição da Classe IV, subclasse *e*.

Aproximadamente 4% da área de estudo, 140 ha inseridos em duas glebas (n° 26 e 34, Apêndice II), foram classificados na Classe V, devido ao risco moderado de inundação do Gleissolo Háptico, o que configura limitação por excesso de água, subclasse *a* (Tabela 5.5).

Dessa forma, foi verificado que, em geral, o relevo foi o fator primordial para a determinação das classes de capacidade de uso da terra, especialmente, as Classes VI e VII, que representam mais 95% da área. Esse resultado mostra que as terras da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira apresentam limitações por riscos de erosão (subclasse *e*), associados à ocorrência de declives acentuados.

A análise integrada das atuais formas de uso e ocupação da sub-bacia e das classes de capacidade de uso permitiu verificar se as degradações ocorrentes estão relacionadas ao uso fora da capacidade.

#### 5.4.3. Análise Integrada do Uso e Ocupação com a Capacidade de Uso das Terras

Foi observado que a pastagem é a forma de ocupação predominante nas glebas de Classe IV (Tabela 5.6), ou seja, grande parte está sendo usada adequadamente, dado que a Classe IV representa terras com limitações a cultivos anuais e, usualmente, devem ser mantidas como pastagens (LEPSCH, 1991). No entanto, deve ser dada atenção aos 10% das glebas associados à urbanização. Isso porque tratam-se de áreas protegidas pela legislação e que, atualmente, estão sendo aterradas para abertura de loteamentos. Situação semelhante é verificada para as glebas de Classe V, onde aproximadamente 80% da área é coberta por pastagem, uso adequado à classe. Entretanto, 7% da área corresponde a solo exposto, relacionado as áreas de empréstimo, cortes de taludes e aterramentos realizados para implantação da nova sede da Prefeitura Municipal de Itajubá.

**Tabela 5.6:** Relação do uso e ocupação do solo com a capacidade de uso da sub-bacia.

Percentual do Uso do Solo com Relação as Classes de Capacidade				
Uso \ Classe	IV	V	VI	VII
Pastagem	79,00	78,69	56,07	33,25
Cultura	-	2,27	1,64	0,27
Mata	9,95	9,62	39,08	66,13
Urbanização	10,07	2,37	2,12	0,03
Solo Exposto	0,99	7,05	1,11	0,32
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

As glebas de Classe VI e VII que correspondem a mais de 95% da sub-bacia, são, de acordo com Lepsch (1991), impróprias para culturas anuais, mas podem ser utilizadas para pastagens e florestas artificiais. Segundo Campos, Nardini, *et al.* (2010), para as subclasses VIe e VIIe, a pastagem é indicada, desde que haja cuidados especiais no preparo do solo, plantio de forrageiras de vegetação densa, controle de sulcos e de pequenas a médias voçorocas, sulcos em nível, controle do pisoteio e do pastoreio, florestas com interdição do gado, proteção contra fogo e conservação das florestas protetoras.

As pastagens e fragmentos florestais representam mais de 90% das glebas de Classe VI e VII (Tabela 5.6), indicando que as terras da sub-bacia estão sendo utilizadas, parcialmente, dentro da capacidade de uso. No entanto, nas áreas de pastagens são inexistentes técnicas de manejo conservacionista, contrariando as orientações de Lepsch (1991) e Campos, Nardini, *et al.* (2010). Esse contexto também foi observado por Rodrigues, Zimback e Piroli (2001) e Fujihara (2002), em estudos de adequação do uso do solo à capacidade de uso de duas bacias, onde os autores constataram que as terras das bacias também estavam sendo utilizadas dentro da capacidade de uso, contudo, o manejo inadequado das pastagens propiciou o surgimento das feições erosivas.

Das 20 áreas degradadas levantadas, 16 estão em área de pastagem, nove na Classe VI e sete na Classe VII. Esse resultado sugere que, além da erodibilidade natural dos solos e das altas declividades, a ausência de técnicas de manejo adequadas nas áreas de pastagens também contribui para a intensificação dos fatores erosivos naturais e, conseqüente, surgimento de degradações.

## 6. CONCLUSÃO

Por meio de uma metodologia que combinou técnicas de campo, laboratório e geoprocessamento, foi possível o diagnóstico e a análise dos principais processos de degradação do solo por erosão hídrica na sub0bacia do ribeirão José Pereira, embasando as seguintes conclusões:

- Os deslocamentos de massa em corte de estradas e em encostas e as erosões em sulcos constituíram os principais processos de degradação do solo. Ocorrem, em geral, em áreas de pastagens e em encostas com formas convexas;
- A remoção da cobertura vegetal natural para implantação de pastagens em áreas com declividades superiores a 58%, aliada a erodibilidade natural de Cambissolos e Argissolos, contribuiu, significativamente, para a deflagração dos deslocamentos de massa;
- A falta de projeto adequado para a abertura de estradas propiciou a exposição das camadas mais frágeis do solo, a ausência de sistemas de drenagem e de recuo do corte até o ângulo de repouso, principais fatores causadores dos deslocamentos de massa;
- As classes de Capacidade de Uso das Terras foram condicionadas, sobretudo, pela ocorrência de relevo forte ondulado e montanhoso. Aproximadamente 95% das glebas estão nas Classes VI e VII, que permitem a utilização para pastagens, forma de uso dominante na sub-bacia.
- Em geral, o uso e ocupação da sub-bacia do ribeirão José Pereira está adequado às classes de capacidade de uso. No entanto, a ausência de técnicas conservacionistas nas áreas de pastagens contribui para a instalação de processos erosivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIER, J. M. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. 402. ed. Blumenau: Editora da Universidade Regional de Blumenau, 1998.

ALMEIDA, C. O. S. et al. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 178-184, 2011.

ALMEIDA, C. O. S. et al. Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 145-152, 2012.

AMORIM, R. S. S. et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 1046-1049, nov/dez 2010.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.703 - Degradação do Solo (Terminologia)**. Rio de Janeiro, p. 45. 1989.

BARRETO, A. G. O.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2443-2460, 2008.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 235-244, 2010.

BERTOLINI, D.; BELLINAZZI JUNIOR, R. **Levantamento do meio físico para determinação da capacidade de uso das terras**. Campinas, p. 29. 1994.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Erosão. In: BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª. ed. São Paulo: Ícone, 1999. Cap. 7, p. 68-93.

BIGARELLA, J. J. Processos erosivos, aspectos erosivos e denudacionais, erosão superficial, erosão em canais, ravinas e voçorocas. In: BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. ed. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, v. 3, 2007. Cap. 15, p. 884-939.

BISPO, P. C. et al. Análise da susceptibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com uso de métodos de inferência espacial. **Geociências**, São Paulo, v. 30, p. 467-478, 2011.

BOARETT, W. A.; SOUZA, C. M.; WRUCK, F. J. Índice de erosividade das chuvas para Viçosa/MG. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 45, p. 193-201, 1998.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1263-1270, jul/ago 2011.

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, Inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, 1989. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm)>. Acesso em: 16 jun 2012.

CAMPOS, S. et al. Sistema de informações geográficas aplicado à espacialização da capacidade de uso da terra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, p. 174-179, abr/jun 2010.

CARVAJAL, G. F. **Análise da relação chuva-escorregamento em regiões tropicais montanhosas urbanas, caso de estudo Rio de Janeiro, Brasil**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 136. 2011.

CARVALHO, A. D. P.; NETO, J. M. D. M. **Estudo da degradação ambiental da Bacia hidrográfica do açude Soledade no Estado da Paraíba**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. p. 1129. 30 de abril a 05 de maio.

CARVALHO, R. B. **Conservação do solo agrícola: Levantamento de dados e caracterização**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 50. 2008. Monografia de Graduação.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CASTRO, J. M. G. et al. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto - BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, p. 58-66, mar 2012.

CASTRO, U. N. D. et al. Mapeamento de feições erosivas e cicatrizes de escorregamentos por unidade de relevo na sub-bacia do rio Sana (Macaé-RJ). **Revista de Geografia**, Recife, Set 2010. Especial VIII SINAGEO.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 18, p. 301-310.

CERRI, L. E.; AMARAL, C. P. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia da Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 301-310.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 743-753, jul/ago 2003.

COUTINHO, S. V. A precipitação e sua influência na movimentação de massa: estudo de um caso. **Revista Saúde e Ambiente**, Joinville, v. 3, p. 11-19, 2002.

- CROZIER, M. J. **Landslides: causes, consequences and environment**. London: Croon Helm, 1986. 252 p.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 337-379.
- DE MELO, A. C.; SOUTO, J. S. Capacidade de uso da terra no Assentamento Patativa do Assaré, Patos-PB. **Revista de Geografia**, Recife, p. 183-204, 2011.
- DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. Análise de susceptibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis - SC. **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 91-104, 2002.
- EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT. **Operating Instructions - 08.01 Sandbox**. Amsterdã, p. 24. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997. 212 p.
- FARLEY, K. A.; JOBBABY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1564-1576, 2005.
- FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. D. S.; SILVA, R. G. D. Degradação ambiental no Estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 01, p. 179-198, jan/mar 2005.
- FERNANDES, N. B. et al. Capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do Jiquiriça, recôncavo sul da Bahia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, p. 105-122, jul. 2010.
- FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 2, p. 51-71, 2001.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 3, p. 123-186.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 8ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 123-134.
- FERREIRA, V. M. et al. Influência antrópica e atributos do solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, p. 209-219, jan/abr 2011.
- FILHO, B. C. et al. Aptidão agroecológica de terras: proposta de avaliação em paisagens rurais montanhosas ocupadas por pequenos agricultores na Serra do Mar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 24, p. 39-75, jan/dez 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Natural resources and the human environment for food and agriculture**. Roma. 1980.

FREITAS, P. L.; MANZATTO, C. V.; COUTINHO, H. L. C. A crise da energia e a degradação dos recursos naturais: solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 7-9, 2001.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 136. 2002.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management - problems and solutions**. Oxford: Oxford University Press, 2004. 269 p.

GARCIA, G.; ANTONELLO, S.; MAGALHÃES, M. Nova Versão do Sistema de Avaliação de Terras - SIAT. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 516-529, Maio/Agosto 2005.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos em encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. Cap. 4, p. 472.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 3ª Edição. ed. 1998: Bertrand Brasil, Cap. 4, p. 149-199.

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVES, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 8, p. 35-43, 2007.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. D. C. O. Geomorfologia do Cotidiano - A degradação dos solos. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 4, n. Especial, p. 116-135, junho 2012.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 194 p.

GUIMARÃES, R. F. et al. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Orgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 39, p. 190-198, março 2009.

HARRIS, J. A.; BIRCH, P.; PALMER, J. P. **Land Restoration and Reclamation: principles and practice**. Essex: Addison Wesley Longman, 1996. 230 p.

HASSET, J. J.; BANWART, W. L. **Soils and their environment**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

HERNANI, L. C. et al. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. p. 174.

HOUGHTON, P. D.; CHARMAN, P. E. V. **Glossary of terms used in soil conservation**. New South Wales: Soil Conservation Service, 1986. 147 p.

HUDSON, N. W. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. **Proceedings and Transactions - Rhodesia Scientific Association**, v. 49, p. 15-25, 1961.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 2ª. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320 p.

HUDSON, N. W. Soil Conservation. **Cornell University Press**, Ithaca, 1977. 320.

IDE, F. S. **Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP**.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, p. 155. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (IBAMA). PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA).

UNIVERSIDADE LIVRE DA MATA ATLÂNTICA (UMA). **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial - 2002: passado, presente e futuro**. Brasília: [s.n.], 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa Político-administrativo do Brasil. Escala 1:5.000.000. 2004. Disponível em

<[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/brasil\\_2004.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/brasil_2004.pdf)> . Acesso em 27 ago 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa Político do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.200.000. 2009. Disponível em

<[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/politico/unidades\\_federacao/mg\\_politico.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/politico/unidades_federacao/mg_politico.pdf)>. Acesso em 27 ago 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (IBAMA).

Vegetação Nativa do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. 2007. Disponível em <<http://siscom.ibama.gov.br/index.php?page=inicio>>. Acesso em 27 ago 2012.

JOHNSON, D. L. et al. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 581-589, 1997.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. D. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de uso do solo na bacia do rio Vieira, em Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, p. 779-792, dez 2011.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. **Aggregate stability and size distribution**. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> ed. 1986.v.1, p.425-441 (Agronomy monograph)

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LIMA, M. V.; RONCAGLIO, C. Degradação socioambiental urbana, políticas públicas e cidadania. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, p. 53-63, jan/jun 2001.

LIMA, O. **Mapeamento Pedológico e Caracterização de Topossequências de Solos na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 118. 2012.

- LUZ, S. R. **Análise da Influência da Urbanização nas Vazões da Bacia do Ribeirão José Pereira**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2008.
- MAIA, J. L. **Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a Utilização da Sazonalidade**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 116. 2003.
- MARTINI, L. C. P. et al. Avaliação da Suscetibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa: Decisão Multicriterial Suportada em Sistemas de Informações Geográficas. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 6, p. 41-52, julho 2006.
- MAZURANA, J. et al. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 975-983, 2009.
- MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 537-545, abr 2007.
- MENDONÇA, I. F. C.; NETO, F. L.; VIÉGAS, R. A. Classificação da capacidade de uso das terras da Microbacia do Riacho Una, Sapé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 888-895, 2006.
- MENEGUZZO, I. S. **Análise da degradação ambiental na área urbana da bacia do rio Arroio Gertrudes, Ponta Grossa, PR.: uma contribuição ao planejamento ambiental**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 100. 2006.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Londres: Longman Group, 1986. 298 p.
- MOTA, M. S. **Uso de Geoprocessamento para Análise do Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Preservação Permanente do Município de Itajubá, MG, Brasil**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2010.
- NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G. Os processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do Ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionantes principais: observações preliminares. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, p. 13-21, 2006. Ano 7, nº 2.
- OGURA, A. T.; MACEDO, E. S. **Procesos y riesgos geologicos**. Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Proteção Ambiental. Campinas: [s.n.]. 2002. p. 124-147.
- OLIVEIRA, A. H. et al. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na sub-bacia do Salto, Extrema, MG. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 143-154, jan/mar 2012.
- OLIVEIRA, F. P. et al. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 331-339, set 2010.
- OLIVEIRA, J. R. et al. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 140-147, 2010.

- OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba: Mineropar, 1998. 52 p.
- OLIVEIRA, N. M. G. A.; CARVALHO, J. A. R.; NETO, M. A. S. Avaliação da dinâmica e evolução erosiva urbana: riscos geológicos nos glaciais de acumulação no município de Camaragibe (PE). **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 40, p. 59-67, março 2010.
- PEREIRA, W. **Avaliação da erosividade das chuvas em diferentes locais do Estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 73. 1977.
- PRIMO, K. R. **Estudo Hidrogeoquímico da Sub-bacia do Ribeirão José Pereira, município de Itajubá, Estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2004
- RAMPIM, L. et al. Determinação da capacidade de uso visando o manejo sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 251-264, mar/abr 2012.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5ª. ed. Lavras: UFLA, 2007.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 435-440, 2008. Nota Técnica.
- RIBEIRO, F.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 628-636, 2007.
- RIBEIRO, G. F. **Estudo dos fatores do meio físico que influenciam a capacidade de infiltração das águas da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Minas Gerais**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 105. 2010.
- RODRIGUES, R. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistemas de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 675-681, 2001.
- SANCHEZ, R. B. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedofomas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 1095-1103, 2009.
- SANTOS, F. P. D.; BAYER, M.; CARVALHO, T. M. D. Compartimentação pedológica da Bacia do Rio dos Bois, municípios de Cezarina, Varjão, Guapó e Palmeira de Goiás (GO) e sua relação com a suscetibilidade e risco à erosão laminar. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 28, p. 103-124, jul/dez 2008.
- SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 427-436, 2000.
- SERATO, D. S.; RODRIGUES, S. C. Avaliação e recuperação da área degradada (voçoroca) no interior da Fazenda Experimental do Glória no município de Uberlândia (MG). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 30, p. 29-42, jul/dez 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). Mapa Geológico de Itajubá - SF.23-Y-B-III. Escala 1:100.000. 2008. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em 27 ago 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Mapa de Geodiversidade de Minas Gerais. Escala 1: 1.000.000. 2006. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em 27 ago 2012.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, D. J. B. V. **Avaliação de métodos de baixo custo para proteção de taludes em estradas rurais não-pavimentadas**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, p. 73. 2009.

SILVA, M. A. et al. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no vale do Rio Doce, região centro-leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1029-1039, 2010.

SILVA, M. L. N. et al. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 131-137, 1997.

S.O.S MATA ATLÂNTICA. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Remanescentes de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Escala 1:50.000. 2011. Disponível em <<http://mapas.sosma.org.br/>>. Acesso em 27 ago 2012.

SOUSA, F. A. D.; LIMA, C. V. D. Capacidade de uso das terras como suporte ao planejamento ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio - Iporá/GO. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 27, p. 91-101, jul/dez 2007.

SOUZA, C. R. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle de erosão em taludes de estradas florestais**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2000.

SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. **Principais formas de erosão hídrica**. Universidade Federal de Lavras. Notas de Aula. Lavras, p. 25.

SOUZA, G. B. N. **Degradação ambiental e ocupação do solo na várzea do rio Ouricuri, Capanema (PA)**. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2003.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

- TEIXEIRA, L. L. F. M.; ROMÃO, P. D. A. Análise integrada do meio físico como subsídio ao diagnóstico de processos erosivos na bacia do Ribeirão Extrema em Anápolis (GO). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 29, p. 127-142, jul/dez 2009.
- TELLES, T. S. **Os custos da erosão do solo**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, p. 61. 2010.
- TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DECHEN, S. C. F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 287-298, 2011.
- TOLEDO, A. M. A.; BALLESTER, M. V. R. **Diagnóstico de intensidade de uso da terra no município de Urupá (RO)**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: [s.n.]. 2007. p. 4297-4304.
- TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement and control**. New York: Willey, 2002. 338 p.
- TROUW, R.A.J.; NUNES, R.P.M.; CASTRO, E.M.O.; TROUW, C.C.; MATOS, G.C. MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. **Nota Explicativa das Folhas Varginha (SF.23-V-D-VI) e Itajubá (SF.23-Y-B-III)**. Programa Geologia do Brasil. CPRM. Minas Gerais, 2008
- VALLE JÚNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Universidade Estadual Paulista (Câmpus Jaboticabal). Jaboticabal, p. 233. 2008.
- WAQUIL, P. D.; FINCO, M. V. A.; MATTOS, E. J. Pobreza Rural e Degradação Ambiental: uma Refutação da Hipótese do Círculo Vicioso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 42, p. 317-340, abr/jun 2004.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, Washington, 1978. 537.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: Agriculture Handbook, 1978. 58 p.
- ZOCCAL, J. C. **Caderno de Estudos em Conservação do Solo e Água**. Presidente Prudente: CODASP, 2007.
- ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro (SP), seus tipos e evolução entre 1972 - 2002. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 37, p. 414-425, junho 2007.

### ANEXO I – Classes de permeabilidade do solo à água

Classe	Permeabilidade (mm.h <sup>-1</sup> )
Rápida	> 254
Moderada a rápida	254 - 127
Moderada	127 - 63,5
Lenta a moderada	63,5 - 20
Lenta	20 - 5
Muito lenta	<5

Fonte: Adaptado de Soil Survey Staff (1993).

**ANEXO II – Tabela de julgamento do Sistema de Capacidade de Uso do Solo.**

<b>Limitações</b>		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>
Profundidade efetiva	Muito profunda	x	x	x	x	x	x	x	x
	Profunda		x	x	x	x	x	x	x
	Moderada				x	x	x	x	x
	Rasa						x	x	x
Drenagem	Excessivamente drenada		x	x	x	x	x	x	x
	Bem drenada	x	x	x	x	x	x	x	x
	Moderada			x	x	x	x	x	x
	Mal drenada								
Pedregosidade	Não pedregosa	x	x	x	x	x	x	x	x
	Moderada		x	x	x	x	x	x	x
	Pedregosa			x	x	x	x	x	x
	Muito pedregosa						x	x	x
	Extremamente pedregosa							x	x
Risco de inundação	Muito baixa			x	x	x	x	x	x
	Baixa				x	x	x	x	x
	Moderada					x	x	x	x
	Alta						x	x	x
	Muito alta								x
Classes de declive	Plano	x	x	x	x	x	x	x	x
	Suave ondulado		x	x	x	x	x	x	x
	Ondulado			x	x		x	x	x
	Colinoso				x		x	x	x
	Forte ondulado						x	x	x
	Montanhoso							x	x
	Escarpado								x
Erosão laminar	Ligeira		x	x	x		x	x	x
	Moderada			x	x		x	x	x
	Severa						x	x	x
	Muito severa							x	x
	Extremamente severa								x
Sulcos superficiais	Ocasionais		x	x	x		x	x	x
	Frequentes			x	x		x	x	x
	Muito frequentes				x		x	x	x
Sulcos rasos	Ocasionais			x	x		x	x	x
	Frequentes				x		x	x	x
	Muito frequentes						x	x	x
Sulcos profundos	Ocasionais				x		x	x	x
	Frequentes						x	x	x
	Muito frequentes							x	x
Voçorocas	Ocasionais						x	x	x
	Frequentes							x	x
	Muito frequentes								x

**APÊNDICE I – Ficha de caracterização das áreas degradadas.**

<b>Data Visita:</b>		<b>Vistoria N°:</b>		<b>TIPO DE DEGRADAÇÃO</b>			
				<input type="checkbox"/> Movimento de massa		<input type="checkbox"/> Erosão em pastagem	
<b>LOCALIZAÇÃO</b>				<input type="checkbox"/> Deslizamento em corte de estrada		<input type="checkbox"/> Área de empréstimo	
N° Identificação:		N° Fotos:		<input type="checkbox"/> Erosão em corte de estrada		<input type="checkbox"/> Queimada	
Local:				<input type="checkbox"/> Erosão em Talude		<input type="checkbox"/> Outros – O que:	
Coordenadas	E (m):	N (m):					
Declividade	H (m):	V (m):		<b>DIMENSÕES</b>			
				Comprimento (m):		Largura (m):	
<b>CONDIÇÕES DE TEMPO</b>				Profundidade (m):			
<input type="checkbox"/> Ensolarado		<input type="checkbox"/> Nublado		<input type="checkbox"/> Chuvoso			
				<b>POSIÇÃO NA ENCOSTA</b>			
<b>CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO</b>				<input type="checkbox"/> Topo		<input type="checkbox"/> Terço superior	
				<input type="checkbox"/> Terço inferior		<input type="checkbox"/> Planície	
				<b>FORMA DA ENCOSTA</b>			
				<input type="checkbox"/> Côncavo		<input type="checkbox"/> Convexo	
				<input type="checkbox"/> Retflineo			
<b>VEGETAÇÃO</b>							
				<b>SE EROSÃO</b>			
				<input type="checkbox"/> Ativa		<input type="checkbox"/> Dormente	
				<input type="checkbox"/> Estabilizada			
<b>USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</b>							
				<b>FENOMENOLOGIA</b>			
				<input type="checkbox"/> Recalque		<input type="checkbox"/> Superficial	
				<input type="checkbox"/> Profundo		<input type="checkbox"/> Estágio Inicial	
<b>PEDREGOSIDADE</b> (tipo de fragmento e quantidade)				<input type="checkbox"/> Abatimento		<input type="checkbox"/> Processo instalado	
				<input type="checkbox"/> Matacões instáveis		<input type="checkbox"/> Tipo ravinamento	
				<input type="checkbox"/> Recorrente		<input type="checkbox"/> Recorrente	
				<input type="checkbox"/> Queda de blocos		<input type="checkbox"/> Planar	
				<input type="checkbox"/> Voçoroca		<input type="checkbox"/> Voçoroca	
				<input type="checkbox"/> Outros		<input type="checkbox"/> Conchoidal	
<b>CONDIÇÕES E PADRÃO DE DRENAGEM</b>							

**APÊNDICE II – Tabela de julgamento do Sistema de Capacidade de Uso da sub-bacia hidrográfica do ribeirão José Pereira**

GLEBA	SUBGLEBA	PROF. EFETIVA	PERM. DO PERFIL	PEDREGOSIDADE	RISCOS DE INUNDAÇÃO	CLASSE DE DECLIVE	E.L <sup>1</sup>	E.S.S <sup>2</sup>	E.S.R <sup>3</sup>	E.S.P <sup>4</sup>	VOC. <sup>5</sup>	CLASSE DE USO	SUBCLASSE
1	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
2	2.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
	2.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
	2.3	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	-	-	Ocasionais	-	-	VI	e
3	3.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	-	-	-	Ocasionais	-	VI	e
	3.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
4	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
5	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
6	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
7	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
8	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
9	9.1	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	Ocasionais	-	Frequentes	VII	e
	9.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
	9.3	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Ocasionais	-	VI	e
10	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
11	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
12	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
13	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	-	Ocasionais	-	-	-	VII	e
14	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
15	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
16	16.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
	16.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
17	17.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
	17.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	-	-	Ocasionais	-	-	VII	e
	17.3	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
18	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
19	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	Ocasionais	-	Ocasionais	VI	e
20	20.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
	20.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Severa	-	-	Frequentes	-	VI	e
21	21.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
	21.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	Frequentes	VI	e

GLEBA	SUBGLEBA	PROF. EFETIVA	PERM. DO PERFIL	PEDREGOSIDADE	RISCOS DE INUNDAÇÃO	CLASSE DE DECLIVE	E.L <sup>1</sup>	E.S.S <sup>2</sup>	E.S.R <sup>3</sup>	E.S.P <sup>4</sup>	VOC. <sup>5</sup>	CLASSE DE USO	SUBCLASSE
	21.3	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixo	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
22	-	Profundo	Bem drenado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Ocasionais	-	VI	e
23	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Muito baixo	Plano	Moderada	-	-	-	-	IV	s
24	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Baixa	Forte ondulado	-	-	-	Frequentes	-	VI	e
25	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Colinoso	Ligeira	-	-	-	-	IV	e
26	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Moderada	Plano	Moderada	-	-	-	-	V	a
27	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Moderada	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
28	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	Ocasionais	-	-	VI	e
29	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
30	-	Profundo	Bem drenado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
31	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
32	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Ligeira	-	-	-	-	VI	e
33	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Moderada	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
34	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Moderada	Plano	-	-	-	Ocasionais	-	V	a
35	-	Moderada	Mal drenado	Não pedregosa	Moderada	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
36	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
37	-	Profundo	Bem drenado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	-	-	VI	e
38	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Ocasionais	-	VI	e
39	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	Ocasionais	-	VII	e
40	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	-	-	VII	e
41	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	Ocasionais	-	-	VI	e
42	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Frequentes	-	VI	e
43	-	Profundo	Bem drenado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
44	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	Ocasionais	-	-	VI	e
45	45.1	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
	45.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Severa	-	-	Frequentes	Ocasionais	VII	e
	45.3	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	-	-	VII	e
46	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Severa	-	-	Frequentes	Ocasionais	VI	e
47	47.1	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	-	-	VII	e
	47.2	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	-	Frequentes	VII	e
48	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
49	-	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Forte ondulado	-	-	-	-	-	VI	e
50	-	Profundo	Moderado	C/ Matacões	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	Ocasionais	Ocasionais	VII	e

GLEBA	SUBGLEBA	PROF. EFETIVA	PERM. DO PERFIL	PEDREGOSIDADE	RISCOS DE INUNDAÇÃO	CLASSE DE DECLIVE	E.L <sup>1</sup>	E.S.S <sup>2</sup>	E.S.R <sup>3</sup>	E.S.P <sup>4</sup>	VOC. <sup>5</sup>	CLASSE DE USO	SUBCLASSE
51	51.1	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Ligeira	-	-	-	-	VII	e
	51.2	Profundo	Moderado	Rochoso	Muito baixa	Montanhoso	-	-	-	-	-	VII	e
	51.3	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Montanhoso	Moderada	-	-	-	Ocasionais	VII	e
52	-	Profundo	Moderado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Ocasionais	Ocasionais	VI	e
53	-	Profundo	Bem drenado	Não pedregosa	Muito baixa	Forte ondulado	Moderada	-	-	Ocasionais	-	VI	e

<sup>1</sup> Erosão linear, <sup>2</sup> Erosão em sulcos superficiais, <sup>3</sup> Erosão em sulcos rasos, <sup>4</sup> Erosão em sulcos profundos, <sup>5</sup> Voçorocas.

