

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO (SÃO CARLOS,
ANALÂNDIA E DESCALVADO-SP), UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO.**

YANAYNE BENETTI BARBOSA

São Carlos

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO (SÃO CARLOS,
ANALÂNDIA E DESCALVADO-SP), UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO.**

YANAYNE BENETTI BARBOSA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

São Carlos

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B238ev

Barbosa, Yanayne Benetti.

Estudo da vulnerabilidade a erosão da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano (São Carlos, Analândia e Descalvado-SP), utilizando Geoprocessamento / Yanayne Benetti Barbosa. -- São Carlos : UFSCar, 2010.
148 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Engenharia urbana. 2. Geoprocessamento. 3. Erosão.
4. Bacias hidrográficas. 5. Sistemas de informação geográfica. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

YANAYNE BENETTI BARBOSA

Dissertação defendida e aprovada em 20/07/2010
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi - Presidente
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Vanderley Severino dos Santos
(DCC/IFECT-Cuiabá)

Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Presidente da CPGEU

Dedico este trabalho ao meu querido e amado esposo Jorge A. de Moura Delezuk, que sempre está ao meu lado e me incentivando ajudando e apoiando nos momentos difíceis e de glória. Dedico aos meus irmãos: Gefferson B. Barbosa, Petterson B. Barbosa, Willian F. B. Barbosa e a minha nova família Vivian, Paula, Marina e Paulo Delezuk. A meu pai José Luiz Barbosa e em especial a minha mãe Cheila Diniz Benetti que sempre me apoiou e a Deus que iluminou o meu caminho.

Agradecimentos

À Universidade Federal de São Carlos através do Departamento Engenharia Civil pelo apoio à pesquisa científica.

Meu agradecimento ao Prof. Dr. Reinado Lorandi pela orientação e por acreditar no meu trabalho.

A Maria Eugênia Bruck de Moraes, pela amizade e auxílio durante o trabalho.

Ao professor Edson Augusto Melanda pelas informações e esclarecimento a esta pesquisa e auxílio nas figuras.

Ao Professor Vanderlay S. dos Santos, por sua atenção e esclarecimento a esta pesquisa.

Aos amigos de pós-graduandos de 2007/ 2008 pela ajuda nos momentos mais decisivos, pela camaradagem e por tornarem, com as suas presenças, a sala de estudos um ambiente tão agradável e favorável à pesquisa.

Ao Prof. Swami Marcondes Villela pela compreensão nos dias de minha ausência.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de vulnerabilidade a perda do solo em uma bacia hidrográfica, na escala 1:50.000, com o intuito de gerar cartas de vulnerabilidade a erosão com base nos temas de geomorfologia, geologia, solo, vegetação, uso do solo e clima. A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, uma sub-bacia do Rio Mogi-Guaçu englobando parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos, localizados no centro do Estado de São Paulo. Para alcançar os objetivos da pesquisa, utilizou-se a abordagem metodológica proposta por Crepani et al 2001 que fundamenta na concepção da Ecodinâmica de Tricart. O conhecimento das áreas vulneráveis a erosão é de fundamental importância para haver futuras medidas de controle preventivo de uso e ocupação do solo da bacia e para a realização de um planejamento ambiental adequado a realidade da área de estudo.

Palavras chaves: Ribeirão do Pântano; Vulnerabilidade; Erosão; SIG; Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

This paper presents a study on the vulnerability in terms of soil loss in a hydrographic basin, scale 1:50,000. Its main purpose is to draw up a vulnerability chart to erosion based on the themes of geomorphology, geology, soil, vegetation, land use and climate. The study area comprises the hydrographic basin of the Ribeirão do Pântano stream, a sub-basin of the Mogi-Guaçu river, which encompasses parts of the municipalities of Analândia, Descalvado and São Carlos, located in the center of the State of São Paulo. The methodological approach proposed by Crepani et al. (2001), founded on the concept of Tricart's Ecodynamics, was employed to achieve the objectives of this research. The knowledge on the areas vulnerable to erosion is very important in order to elaborate a proper environmental planning, to control the occupation of the basin soil and to prevent the occurrence of erosion and soil loss in the studied area.

Keywords: Ribeirão do Pântano; Vulnerability; Erosion; GIS; Hydrographic Basin.

Lista de Figuras

FIGURA 1- APA DO ESTADO DE SÃO PAULO (4 A) CORUMBATAÍ/BOTUCATU/TEJUPÁ E (13 A) - PIRACICABA/JUQUERI-MIRIM(ÁREA1).....	24
FIGURA 2- UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.	25
FIGURA 3- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA (EM DESTAQUE) NA BACIA DO RIO PIRACICABA.....	26
FIGURA 4- VOÇOROCA	29
FIGURA 5- SULCOS, RAVINAS E VOÇOROCAS	34
FIGURA 6- EXEMPLO DE GRÁFICOS REALIZADOS PARA A OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	39
FIGURA 7- DESAGREGAÇÃO DO SOLO CAUSADA PELO IMPACTO DA GOTA DE CHUVA.....	41
FIGURA 8- ESQUEMA DA DESAGREGAÇÃO DO SOLO PELO IMPACTO DA GOTA DE CHUVA OU DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	41
FIGURA 9- DIFERENTES VISÕES DE UMA MESMA “REALIDADE”.....	48
FIGURA 10- ELEMENTOS DE REPRESENTAÇÃO VETORIAL.....	50
FIGURA 11- REPRESENTAÇÃO MATRICIAL (OU RASTER).....	51
FIGURA 12- NÍVEIS DE CINZA EQUIVALENTE.	52
FIGURA 13- ESQUEMA DE TRANSFORMAÇÃO DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM MODELAGEM DOS PROCESSOS ATUANTES NO SISTEMAS GEOGRÁFICOS.....	53
FIGURA 14- ESTRUTURA GERAL DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	54
FIGURA 15- ESQUEMA METODOLÓGICO PARA DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR E POTENCIAL EROSÃO LAMINAR	58
FIGURA 16- ROTEIRO COM AS INDICAÇÕES DOS CRUZAMENTOS PARA OBTENÇÃO DAS CARTAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE.....	59
FIGURA 17- MODELOS NUMÉRICOS PARA OS TEMAS GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA, VEGETAÇÃO E USO DO SOLO E CLIMA, COM OS VALORES MÉDIOS DE VULNERABILIDADE PONDERADOS EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO NO INTERIOR DE CADA UTB E MODELO NUMÉRICO FINAL OBTIDO PELA MÉDIA DOS VALORES DE VULNERABILIDADE DE CADA TEMA NO INTERIOR DAS UTBS.	60
FIGURA 18- LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.....	66
FIGURA 19- BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.	67

FIGURA 20- VISTA SUPERIOR DO MONTES CLAROS COM VISTA PARA O CÓRREGO DA FAZENDA MONTES CLAROS AFLUENTE DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO E AOS FUNDOS AS COLINAS E A SERRA DO MONTE SINAI.	68
FIGURA 21 – CUESTA DENTRO DA FAZENDA LEOPOLDINA.	73
FIGURA 22- MORRO TESTEMUNHO ISOLADO LOCALIZADO NA BHRP.....	73
FIGURA 23- EROÇÃO EM ÁREA DE PASTO EM UM DOS AFLUENTES DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.	74
FIGURA 24- EROÇÃO E AFLORAMENTO DE BASALTO EM ALGUNS TRECHOS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	74
FIGURA 25- EROÇÃO NO PASTO (NA PARTE CENTRAL DA FIGURA); VISTA PANORÂMICA DO CÓRREGO DA FAZENDA MONTES CLAROS E FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO.....	75
FIGURA 26- MAPA DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DE SUPERFÍCIE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.	76
FIGURA 27-MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO (MORAES E LORANDI (2009)).	83
FIGURA 28- CULTIVO DE CANA DE AÇÚCAR, PASTO E VEGETAÇÃO NA CERRA DO MONTE SINAI.	90
FIGURA 29- FRAGMENTO DE VEGETAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO.	90
FIGURA 30- MAPA DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO DO ANO 2006	92
FIGURA 31- PLUVIOSIDADE ANUAL DO BRASIL	97
FIGURA 32- DURAÇÃO MÉDIA DO PERÍODO CHUVOSO DO BRASIL.....	98
FIGURA 33- MODELO NUMÉRICO, PARA OS TEMAS GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA, VEGETAÇÃO E USO DO SOLO E CLIMA, COM OS VALORES MÉDIOS DE VULNERABILIDADE PONDERADOS EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE PARTICIPAÇÃO NO INTERIOR DE CADA UTB E MODELO NUMÉRICO FINAL OBTIDO PELA MÉDIA DOS VALORES DE VULNERABILIDADE DE CADA TEMA NO INTERIOR DAS UTBs. MODIFICADO DE SOUZA (1998) APUD SANTOS, (2007).	102
FIGURA 34- FLUXOGRAMA DAS ETAPAS REALIZADAS NA PRESENTE PESQUISA	104
FIGURA 35- VULNERABILIDADE AO TEMA GEOLOGIA	107
FIGURA 36- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE À GEOLOGIA	108
FIGURA 37- VULNERABILIDADE AO TEMA PEDOLOGIA	110

FIGURA 38- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO TEMA PEDOLOGIA.....	111
FIGURA 39- VULNERABILIDADE AO TEMA USO DO SOLO	114
FIGURA 40- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO TEMA USO DO SOLO E VEGETAÇÃO	115
FIGURA 41- VULNERABILIDADE AO TEMA CLIMA.	117
FIGURA 42- VULNERABILIDADE AO TEMA GEOMORFOLOGIA.....	119
FIGURA 43- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO TEMA GEOMORFOLOGIA.....	120
FIGURA 44- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA DIMENSÃO INTERFLUVIAL.....	121
FIGURA 45- VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA DIMENSÃO INTERFLUVIAL.	122
FIGURA 46-VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA DECLIVIDADE.....	124
FIGURA 47- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA DECLIVIDADE.....	125
FIGURA 48- VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA AMPLITUDE ALTIMÉTRICA.....	126
FIGURA 49- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE AO SUB-TEMA AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	127
FIGURA 50- VULNERABILIDADE À EROSÃO.	128
FIGURA 51- QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE À EROSÃO.	129

Lista de Quadros

QUADRO 1- CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS EM RELAÇÃO AO TAMANHO.....	35
QUADRO 2- PONTUAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO UTILIZADO NA ELABORAÇÃO DA CARTA DE POTENCIAL AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.	37
QUADRO 3- PONTUAÇÃO DOS ATRIBUTOS CONSIDERADOS NA ELABORAÇÃO DA CARTA DE PREDISPOSIÇÃO A EROÇÃO ACELERADA.	40
QUADRO 4 - POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE ANALÂNDIA.....	71
QUADRO 5-POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE DESCALVADO	71
QUADRO 6 - POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.....	72
QUADRO 7- AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL.	94
QUADRO 8- VALORES DE VULNERABILIDADE PARA A INTENSIDADE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO.....	95
QUADRO 9- VALORES DE VULNERABILIDADE PARA A AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	95
QUADRO 10-VALORES DE VULNERABILIDADE PARA A DECLIVIDADE DAS ENCOSTAS	96
QUADRO 11- ESCALA DE EROSIVIDADE DA CHUVA E VALORES DE VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO.....	98
QUADRO 12 -ESCALA DE VULNERABILIDADE DAS ROCHAS MAIS COMUNS.....	99
QUADRO 13- VALORES DE VULNERABILIDADE/ ESTABILIDADE DOS SOLOS (V/E) DOS SOLOS. MODIFICADO DE CREPANI ET AL(2001) INCLUINDO A CORRELAÇÃO COM A NOVA NOMENCLATURA DE SOLO DE EMBRAPA (1999) BASEADA EM PRADO (2001).....	100
QUADRO 14- TIPO DE VEGETAÇÃO E DENSIDADE DE COBERTURA.	101
QUADRO 15- CORES E INTERVALOS DE VULNERABILIDADE/ESTABILIDADE USADO NA DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE À EROÇÃO.	103
QUADRO 16- DADOS PLUVIOMÉTRICOS DOS POSTOS QUE FORAM UTILIZADOS NA BACIA DO PÂNTANO.	116

Lista de Anexos

ANEXO 1- MAPA DE DECLIVIDADE	141
ANEXO 2- ESCALA DE VULNERABILIDADE / ESTABILIDADE PARA AS DIFERENTES FORMAÇÕES VEGETAIS E USO ANTROPICOS.	142

Lista de Siglas

APA- Área de Proteção Ambiental;

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;

FBCN - Fundação Brasileira para Conservação da Natureza;

GIS- Geographical Information Systems;

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal;

PSUCB - Sistema de Unidade de Conservação no Brasil;

SIG – Sistema de Informação Geográfica;

SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados;

S.N.U.C. - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza;

U.C. - Unidade de Conservação;

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Meio Ambiente.....	18
3.2	Área de Proteção Ambiental.....	22
3.2.1	Analândia	26
3.2.2	Descalvado.....	27
3.3	Erosão	27
3.3.1	Erosão Geológica.....	28
3.3.2	Erosão Acelerada.....	28
3.3.3	Tipos de Erosão	29
3.3.4	Erosão Laminar	30
3.3.5	Quantificação das perdas de Solo por Erosão Laminar	30
3.3.6	Erosão Linear	32
3.3.7	Sulcos.....	34
3.3.8	Ravinas	34
3.3.9	Voçorocas	35
3.3.10	Fatores condicionantes da Erosão.....	36
3.3.11	Metodologia para tratar da erosão	36
3.3.12	Fatores Naturais	41
3.3.12.1	Chuva.....	41
3.3.12.2	Cobertura Vegetal.....	42
3.3.12.3	Topografia.....	42
3.3.12.4	Solos	43
3.3.12.5	Ação Antrópica.....	43

3.4	Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise	43
3.5	Geoprocessamento	47
3.5.1	Dados Vetoriais	49
3.5.2	Dados em Formato Raster (matriz)	51
3.5.3	Banco de dados	52
3.5.4	Softwares	57
3.6	Estudos de vulnerabilidade à erosão	58
4	ÁREA DE ESTUDO	65
4.1	O Município de Analândia	68
4.2	O Município de Descalvado.....	69
4.3	O Município de São Carlos.....	70
4.4	Crescimento Populacional das três Cidades da Área de Estudo	70
4.5	Geomorfologia.....	72
4.6	Geologia.....	75
4.6.1	Quaternário	76
4.6.2	Formação Santa Rita do Passa Quatro.....	77
4.6.3	Formação Itaqueri	78
4.6.4	Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas	79
4.6.5	Formação Botucatu	80
4.6.6	Formação Pirambóia	81
4.7	Pedologia	82
4.7.1	Latossolo Vermelho-Amarelo	84
4.7.2	Latossolo Vermelho-Escuro (LATOSSOLO ESCURO)	84
4.7.3	Argissolos (Podzólicos Vermelho Amarelos).....	84
4.7.4	Neossolos Quartzarênicos	85
4.7.5	Neossolos Litólicos.....	86
4.7.6	Gleissolos.....	86
4.7.7	Nitossolos (Nitossolo Vermelho)	89

4.8	Uso da terra e Vegetação.....	89
5	METODOLOGIA	92
6	RESULTADOS.....	105
6.1	Geologia.....	105
6.2	Pedologia	108
6.3	Vegetação e uso do solo	111
6.4	Clima.....	115
6.5	Geomorfologia.....	118
6.5.1	Dimensão Interfluvial.....	121
6.5.2	Declividade.....	123
6.5.3	Amplitude Altimétrica.....	125
6.6	Vulnerabilidade à Erosão.....	127
7	CONCLUSÃO	130
8	REFERÊNCIAS.....	133
9	ANEXOS	140

1 Introdução

O processo erosivo certamente pode sempre inspirar justificativas e apresentar atrativos acadêmicos em sua investigação. O problema da erosão desperta a atenção desde um singelo agricultor até governantes, pois as implicações econômicas são altas.

Apesar do meio acadêmico ter consciência de que o combate efetivo à erosão do solo é um problema científico mais cultural do que físico, assim mesmo procuramos tais soluções.

Uma das inúmeras formas de cuidar da erosão é buscar no Planejamento Ambiental as opções e restrições da ocupação do solo em cada área, seja ela rural ou urbana.

Uma opção para subsidiar o Planejamento Ambiental é estudar através de recursos de geoprocessamento a vulnerabilidade à erosão. Assim a presente pesquisa busca apontar as áreas vulneráveis às erosões na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, através da confecção da carta de vulnerabilidade aos temas (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, uso e vegetação), utilizando recursos do geoprocessamento.

A dinâmica das bacias hidrográficas como elemento de estudo adquire grande importância com suporte técnico científico para o Planejamento Ambiental. Em janeiro de 1997 foi sancionada a Lei Federal n.º 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, e consagra os princípios da moderna gestão dos recursos hídricos, adotando a bacia hidrográfica como uma unidade físico-territorial de planejamento além de uma gestão descentralizada e participativa.

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é uma sub-bacia da bacia do Rio Mogi-Guaçu, que engloba parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos (SP), localizando-se entre as coordenadas UTM 212971/7553009 e 235000/7594719.

O trabalho apresenta-se estruturado em dois momentos: no primeiro momento, realiza-se uma fundamentação teórica dos temas abordados, e posteriormente, no segundo momento, procede-se uma descrição da área de estudo e resultados obtidos com a metodologia empregada.

Para melhor organização do trabalho, definiu-se a seguinte estrutura: no capítulo 1, **Introdução** no capítulo 2, os **Objetivos** no capítulo 3, intitulado como **Revisão Bibliográfica**, realiza-se uma breve fundamentação teórica sobre o assunto; no capítulo 4, denominado como **Área de Estudo**, busca-se descrever como são as três cidades Analândia, Descalvado e São Carlos; no capítulo 5, nomeado como **Metodologia**, é apresentado o passo a passo da elaboração de cada mapa de vulnerabilidade para cada tema individual; no capítulo 6, chamado de **Resultados** será abordado o resultado individualizado de cada tema; no capítulo 7, designado como **Conclusão** é abordado o resultado obtido do emprego da metodologia.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é localizar a vulnerabilidade a erosão, na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, com a confecção da carta de vulnerabilidade á erosão através do cruzamento de mapas temáticos dos temas (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, uso e vegetação), utilizando recursos do geoprocessamento.

2.2 Objetivos Específicos

- Contribuir com informações que levem a prudência dos processos erosivos e a identificação dos riscos ambientais e assim subsidiar o planejamento ambiental e a escolha de práticas agrícolas mais adequadas à área estudada;
- Determinar, cartografar e analisar a fragilidade nas unidades ecodinâmicas de instabilidades emergentes e potenciais da alta bacia hidrográfica do rio Ribeirão do Pântano.
- Fornecer dados que subsidiem um futuro projeto de zoneamento (geo)ambiental dessa micro bacia.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Meio Ambiente

A demanda crescente por conservação e preservação do meio natural é um desafio no século XXI. A visão preservacionista teve início na Europa, mas se concretizou nos Estados Unidos da América (E.U.A.) com a criação do primeiro parque nacional, denominado "Yellowstone". No século XIX, os primeiros conservacionistas idealizaram como áreas naturais e selvagens aquelas nas quais as terras eram proibidas de serem colonizadas e vendidas. Mas, segundo Diegues (2001), na área dos sítios arqueológicos do parque de Yellowstone, foi encontrado

vestígio de intensa atividade humana. Assim, após análises de tais vestígios, pôde-se confirmar que o parque foi criado em um território indígena.

Nos Estados Unidos, existiam duas visões de “mundo natural” que tiveram importância dentro e fora do país, sendo estas visões conhecidas como conservacionismo e preservacionismo.

O conservacionismo era um movimento liderado por Gifford Pinchot, o qual pregava o uso racional dos recursos naturais pela geração presente. A premissa do conservacionismo era a cuidar dos recursos naturais no presente, pois se deveria pensar nas futuras gerações, evitando-se, assim, o desperdício. Conforme Diegues (2001), as ideias de Pinchot estiveram em debate na conferência de Estocolmo e na Eco-92, entre outras que pregam conservação do meio natural.

O preservacionismo reverencia a natureza no sentido da apreciação estética e espiritual da vida selvagem. Seu objetivo é proteger a natureza contra o desenvolvimento moderno, industrial e urbano, tendo como defensor destes objetivos o teórico John Muir. A ideologia preservacionista prega que a natureza precisa ter a mínima interferência humana. Em 1890, para Muir, a criação do Parque Nacional denominado “Yosemite” foi uma grande vitória desta ideologia.

No Brasil, os preservacionistas dominam as entidades de conservação mais antigas e clássicas como a FBCN (Fundação Brasileira para Conservação da Natureza), criada em 1958, a Fundação Biodiversidade Futura, a Pronatura, entre outras. O preservacionismo teve influência predominante nas instituições responsáveis pela criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e do Instituto Florestal de São Paulo, que atuam na preservação da natureza. No Brasil, André Rebouças lutou a favor da natureza, pela criação de parques e contra o desmatamento. Rebouças era influenciado pelo positivismo que dava ênfase à necessidade do desenvolvimento da ciência para resolver os problemas do atraso econômico e social e tinha como modelo de natureza protegida os parques norte-americanos.

Os parques nacionais, estabelecidos pelo artigo 9.º do Código Florestal (1934), são considerados monumentos públicos naturais que preservam, em sua composição florística primitiva, locais do país que, por circunstâncias peculiares, o mereçam. Em 1937, foi criado o primeiro Parque Nacional brasileiro, denominado “Itatiaia”, com o propósito de incentivar a pesquisa científica e oferecer lazer à população urbana.

Depois da criação do primeiro parque nacional do Brasil, a expansão da quantidade de parques foi lenta. Em setembro de 1944, pelo Decreto nº 16.677, atribui-se à seção de parques nacionais do Serviço Florestal, criado em 1921, o encargo de orientar, fiscalizar, coordenar e elaborar programas de trabalho para os parques nacionais, objetivando conservar o meio natural para fins científicos, educativos, estéticos ou recreativos. As áreas dos parques sob jurisdição devem promover estudos relativos às florestas, à fauna e à geologia das respectivas regiões, além de organizar museus e herbários regionais.

Para conter a expansão agrícola e o avanço da sociedade urbana-industrial, foram criadas as Unidades de Conservação no Brasil. Em 1979, o IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) elaborou o Plano de Sistema de Unidade de Conservação no Brasil (PSUCB), pois o mesmo estava responsável pela administração da Unidade de Conservação (U.C.). Os objetivos dos PSUCB eram realizar estudos detalhados das regiões prioritárias para a implantação de novas unidades e rever as categorias de manejo até mesmo das existentes, uma vez que as únicas eram os Parques Nacionais e as Reservas Biológicas. Os PSUCB visavam, igualmente, à criação de outras unidades de conservação. Infelizmente, tal objetivo não foi alcançado.

Em 1989, com a criação do IBAMA, foi agregado o estabelecimento e a administração dos (U.C.). Foi encomendada, ao IBAMA, a reavaliação do plano de sistema de Unidade de Conservação e a proposição de mudanças. Estas avaliações ocorreram sem menção ao uso sustentável dos recursos naturais e sem valorização das comunidades tradicionais, mas foi evidenciada a indução da Reserva Extrativista em virtude da luta da população dos seguidores do movimento de preservação da Amazônia.

Em 1992, foram enviadas ao Congresso novas propostas do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (S.N.U.C.), sendo um dos itens a criação, a implantação e a manutenção das Unidades de Conservação.

Segundo Carvalho e Melo (2006), somente em 18 de Julho de 2000, com a Lei Federal nº 9.985, o SNUC, foram estabelecidos critérios e normas para criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação. Os objetivos do SNUC, que estão descritos no artigo 4º da referida lei são os seguintes:

- Contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- Proteger as espécies ameaçadas da extinção no âmbito regional e nacional;
- Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;
- Promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;
- Promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- Proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;
- Proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espelológica, arqueológica, paleontológica e cultural;
- Proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;
- Recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;
- Proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- Valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;
- Favorecer condições e promover a educação e a interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;
- Proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

As unidades de conservação integrantes do SNUC se dividem em dois grupos: as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável.

A primeira tem por objetivo básico preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos em lei (§1º Artigo 7º, Lei Federal nº 9985/2000). Já a segunda tem por objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável da parcela dos seus recursos naturais (§2º, Artigo 7º, Lei Federal 9985/2000).

O grupo das Unidades de Proteção integral é composto pelas seguintes categorias da Unidade de Conservação (Artigo 8º, Lei Federal nº 9985/2000):

- I – Estação Ecológica;
- II – Reserva Biológica;
- III – Parque Nacional;
- IV – Monumento Natural;
- V – Refúgio de Vida Silvestre.

O grupo de Unidades de Uso Sustentável é constituído pelas seguintes categorias de Unidade de Conservação. (art. 14, Lei Federal nº 9985/2000)

- I – Área de Proteção Ambiental;
- II – Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III – Floresta Nacional;
- IV – Reserva Extrativa;
- V – Reserva de Fauna;
- VI – Reserva de Desenvolvimento Sustentável;
- VII – Reserva Particular de Patrimônio Natural.

O Decreto Federal nº 4.340, de 22 de Agosto de 2002, regulamenta artigos da Lei Federal nº 9985/2000, que dispõe sobre a criação no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), do Plano de Manejo, da Geração Compartilhada, da Autorização para a exploração de bens e serviços, da Compensação pelo Significativo Impacto Ambiental gerado e das Reservas da Biosfera.

Pelo fato de os municípios da presente pesquisa estarem em uma categoria da Unidade de Conservação, será melhor detalhada a categoria da APA - Área de Proteção Ambiental.

3.2 Área de Proteção Ambiental

A implementação da Área de Proteção Ambiental (APA) iniciou na década de 80, com base na Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Conforme a referida lei, há pontos importantes que devem ser abordados: a quem se deve

atribuir a criação das estações ecológicas e como utilizar a Estação Ecológica (CETESB, 2010).

O art. 2º dispõe sobre quem pode criar as APAs: “As Estações Ecológicas serão criadas pela União, Estados e Municípios, em terras de seus domínios, definidos, no ato de criação, seus limites geográficos e o órgão responsável pela sua administração” (CETESB, 2010). O art. 4º- estabelece: “As Estações Ecológicas serão implantadas e estruturadas de modo a permitir estudos comparativos com as áreas da mesma região ocupadas e modificadas pelo homem, a fim de obter informações úteis ao planejamento regional e ao uso racional de recursos naturais”.

Segundo propõe a Resolução CONAMA nº 10 de dezembro de 1988, “as APAs terão sempre um zoneamento ecológico-econômico, o qual estabelecerá normas de uso, de acordo com suas condições”, sendo que todas as APAs devem possuir em seu perímetro uma Zona de Vida Silvestre (ZVS).

De acordo com a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, a APA é classificada na categoria de uso direto dos recursos naturais onde são permitidas a ocupação e exploração dos recursos naturais, extrativismo, florestas nativas de forma sustentável, conforme normas específicas que assegurem a proteção das unidades.

A área de estudo do presente trabalho, a Bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, está inserida nos municípios de Descalvado, São Carlos e Analândia, as quais são contempladas com as APAs de Piracicaba, Juqueri-Mirim Figura 1.



Figura 1- APA do estado de São Paulo (4 a) Corumbataí/Botucatu/Tejupá e (13 a) - Piracicaba/Juqueri-Mirim(área1)

Fonte: (SMA ,2010

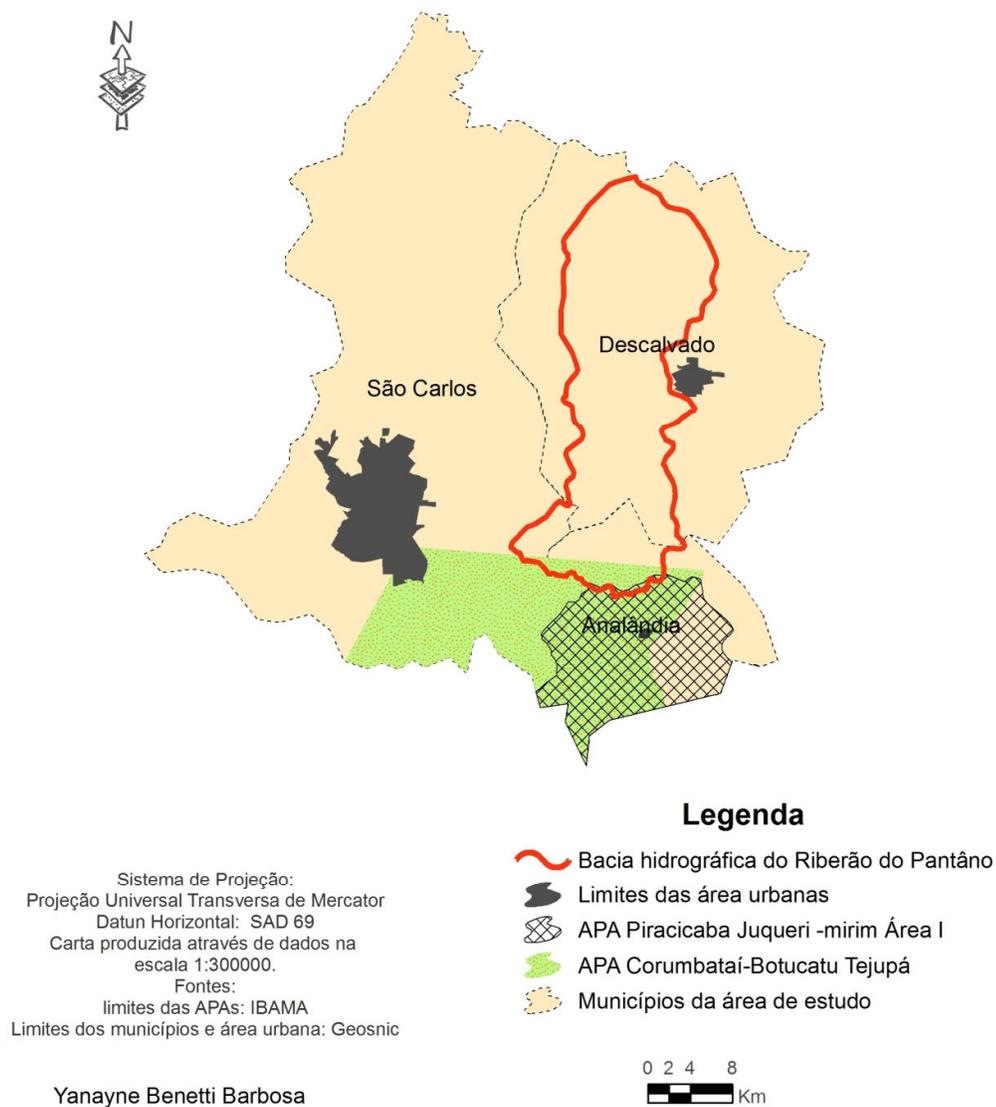


Figura: 2

**Unidades de Conservação de Uso Sustentável
 na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano**

Figura 2- Unidades de conservação de uso Sustentável na Bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano.

3.2.1 Analândia

A Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí abrange os municípios de Analândia, Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro e Santa Gertrudes. Envolve parcialmente os municípios de Charqueada, Itirapina e Piracicaba (Figura 3).

O município de Analândia está inserido na região da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Juqueri-Mirim. O Decreto Estadual nº 26.882, de 11 de março de 1987, estabeleceu como Área de Proteção Ambiental as regiões das bacias hidrográficas Piracicaba e Juqueri-Mirim, incluindo, desta maneira, parte do município de Analândia.

Segundo Leite (2002), a criação da APA de Corumbataí, Botucatu e Tejuapá, criada pelo Decreto Estadual nº 20.960, em 8 julho de 1983, foi motivada em grande parte pela presença de cuestas Arenito-Basálticas. Analândia, segundo Torrezan(2005), tem cerca de 69% de sua área total localizada dentro dos limites da APA.

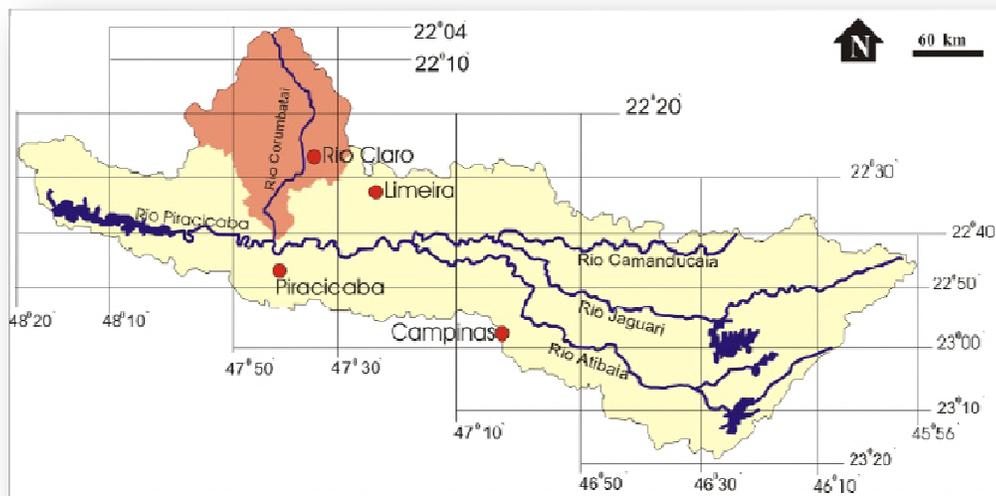


Figura 3- Localização da área (em destaque) na bacia do Rio Piracicaba.

Fonte: (CEAPLA ,2006)

3.2.2 Descalvado

A Área de Proteção Ambiental Municipal de Descalvado foi criada pela Lei municipal 1.600 em junho de 1996, a qual, em seu parágrafo único, cria o zoneamento ecológico econômico em que se estabelecerão normas de uso de acordo com as condições bióticas, geológicas, agropastoris extrativistas, culturais, entre outras. As medidas necessárias à implantação das áreas de proteções ambientais visam impedir, segundo a referida Lei municipal, “o exercício de atividades capazes de provocar acelerada erosão de terras ou acentuado assoreamento nas coleções hídricas”

A Área de Proteção Ambiental (APA) em Descalvado foi criada em junho de 1996 totalizando cerca de 40.000 hectares. Os seus limites foram traçados em função das bacias dos dois principais rios que cortam o município, Ribeirão Bonito e Ribeirão do Pântano. O Ribeirão do Pântano, que tem suas nascentes protegidas por estar na APA Estadual de Corumbataí, foi incluído em toda a extensão contida no município, até desembocar no Rio Mogi-Guaçu. A Bacia do Rio Bonito foi incluída nas áreas de abrangência das nascentes e do curso médio do rio. A APA de Descalvado abrange a área rural, sendo excluídas tanto a zona urbana e a área onde se localizam indústrias e mineradoras (TORREZAN, 2005).

3.3 Erosão

A erosão é um processo físico que pode ser descrito em três partes: desprendimento, transporte e deposição. Este fenômeno, quando ocorre naturalmente em áreas intocadas pelo homem, é chamado de Erosão Geológica ou Normal. A erosão geológica foi responsável por “esculpir”, durante bilhões de anos, montanhas, vales e planícies. A quantidade de solo erodido em condições naturais é ínfima, sendo naturalmente recomposta (SALOMÃO; IWASA, 1995). Além da erosão natural ou geológica, os processos erosivos podem ser divididos em erosão acelerada natural e erosão acelerada antrópica. O equilíbrio existente entre a erosão geológica e a formação do solo é rompido quando o homem derruba e queima as florestas e prepara o solo, removendo a camada superficial, para o plantio. Nestes tipos de solos, os agentes erosivos (chuva e vento) arrastam uma quantidade maior

de sedimentos do que em condições naturais, pois não encontram barreiras que impeçam a erosão (erosão acelerada).

3.3.1 Erosão Geológica

A erosão geológica, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), se apresenta como uma ocorrência natural dos processos de modificação da crosta terrestre, sendo reconhecível somente no decorrer de longos períodos de atividades erosivas. Os processos oriundos da erosão geológica são considerados benéficos, pois através deles ocorrem a formação de regiões férteis, extensas planícies e suaves colinas. Bertoni e Lombardi Neto (1999) destacam que quando o equilíbrio natural não é alterado, o processo erosivo, que remove as partículas, entra em sincronia com a formação do novo solo.

3.3.2 Erosão Acelerada

A erosão geológica constitui um processo lento e natural, que apresenta grande importância no desenvolvimento da paisagem. A interferência antrópica faz com que esse processo natural seja atenuado no que diz respeito à diminuição do tempo e ao aumento da intensidade de sua ocorrência (erosão acelerada). O agravamento dos problemas erosivos, segundo Iwasa e Fendrich (1998), citado por Batista (2003), pode ser relacionado diretamente com o crescimento vertiginoso da população urbana. Na maioria dos casos, o crescimento populacional ocorre em um processo de rápida urbanização, não havendo planejamento, projetos e práticas adequadas de parcelamento do solo.

As principais consequências da erosão acelerada são: redução do potencial de áreas de cultivo, danos a equipamentos agrícolas e assoreamento de rios, lagos, represas e reservatórios. Além das consequências citadas, o uso excessivo e descontrolado de defensivos agrícolas nas lavouras, associado com a erosão acelerada, também é considerado como um dos problemas gerados pelo uso incorreto do solo, pois tal associação favorece a contaminação do solo e da água, principalmente do lençol freático.

3.3.3 Tipos de Erosão

O entendimento dos processos erosivos evidencia importantes acontecimentos iniciais, como o impacto das gotas de chuva na superfície do solo e o escoamento superficial das águas (SALOMÃO; IWASA, 1995). Dependendo da forma como se processa o escoamento superficial, segundo Salomão e Iwasa (1995), podem ocorrer dois tipos de processos erosivos: (i) erosão laminar ou em lençol, que é causada pelo escoamento difuso das águas de chuva acarretando a remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo; (ii) erosão linear, causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir, por aprofundamento, para ravinas. Quando ocorre a evolução da erosão por influência, não somente pelas águas superficiais, mas também por fluxos de águas subsuperficiais, incluindo também o lençol freático, configura-se o processo conhecido por voçoroca, com desenvolvimento da erosão interna ou tubular “piping” Figura 4.



Figura 4- Voçoroca
Fonte : Barro M. (2010)

O fenômeno de “piping”, segundo Salomão e Iwasa,(1995), provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo d’água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com

desabamentos que alargam a voçoroca ou criam novos ramos, como mostra a Figura 4. A voçoroca é palco de diversos fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, ocasionando, desta maneira, rápida evolução e elevado poder destrutivo das voçorocas formadas.

3.3.4 Erosão Laminar

A erosão laminar (entressulcos ou areolar) ocorre devido ao impacto das gotas de chuva ou de irrigação sobre a superfície do solo desnudo. O transporte das partículas se dá por fluxo superficial raso, cuja capacidade erosiva é aumentada pela turbulência do impacto das gotas. O impacto das gotas de chuva pode desagregar grandes quantidades de solo e carregá-los por curtas distâncias (erosão por salpicamento). A distância percorrida pela formação do fluxo superficial raso (fina lâmina de água) geralmente não é grande, pois, em razão das depressões naturais do terreno, estes fluxos se concentram formando os fluxos concentrados ou sulcos.

A quantidade de material desagregado pelo fluxo superficial raso vai depender da quantidade de energia cinética contida nas gotas, pois gotas maiores e que caem com maior velocidade têm maior potencial para desagregar o solo. Diferentes solos poderão resistir de maneira diferente ao impacto das gotas devido as suas propriedades. Esse tipo de erosão, por deslocar camadas finas de solo sobre toda área, é o menos notado, e por isso é considerado o mais perigoso. Bertoni e Lombardi Neto (1999) também classificam a erosão laminar como uma forma de erosão dificilmente perceptível, mas sua ação pode ser percebida pela coloração mais clara do solo, pela exposição de raízes e pela queda da produtividade agrícola.

3.3.5 Quantificação das perdas de Solo por Erosão Laminar

Como descrito por Wiell e Pires Neto (2005), citado por Santos (2007), “O modelo empírico mais conhecido e utilizado para estimativa de taxas de perda de solo por erosão corresponde à Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation- USLE), desenvolvida em 1954 no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, USA), e posteriormente revisada por Wischmeier e Smith

(1965;1978), citado por Santos (2007). No Brasil, os trabalhos iniciais com a equação universal foram desenvolvidos na década de 1970 por Bertoni e colaboradores, utilizando dados existentes para as condições de clima, solo e relevo do Estado de São Paulo. Posteriormente, vários autores procuraram ajustar os fatores do modelo para aplicação da equação em diferentes regiões brasileiras. A USLE foi desenvolvida para estimar a taxa de perda de solo de locais específicos sob sistemas de cultivo e manejo também específicos, tendo por base a erosividade anual média da precipitação ocorrida em uma série de 20 anos ou mais de registros. A equação não se aplica, portanto, para estimativa da perda de solo associada a um evento em particular de precipitação. Para produzir estimativas confiáveis, o modelo requer o levantamento de dados ajustados à realidade, considerando os fatores locais determinantes do processo. Conforme descrevem Wischmeier e Smith (1978), citado por Santos (2007), a USLE ou EUPS consiste de um modelo multiplicativo, pelo qual a taxa estimada de perda anual de solo (A), expressa em massa por unidade de área por unidade de tempo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ tempo}^{-1}$), é dada pelo produto de seis fatores determinantes, caracterizados localmente, de acordo com a Equação I.

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \text{Equação I}$$

Onde:

- R = fator erosividade da precipitação e da enxurrada, expresso em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$;
- K = fator erodibilidade do solo, definido pela intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m, expresso em $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;
- L = fator comprimento da encosta, definido pela relação de perdas de solo entre uma encosta com um comprimento qualquer e uma encosta com 25 m de comprimento, para o mesmo solo e grau de inclinação, adimensional;
- S = fator grau de declive, definido pela relação de perdas de solo entre um terreno com um declive qualquer e um terreno com um

declive de 9 %, para o mesmo solo e comprimento de rampa, adimensional;

- C = fator de cobertura e manejo da cultura, definido pela relação de perdas de solo entre um terreno cultivado em dadas condições e um terreno mantido continuamente descoberto, em condições semelhantes àquelas em que o fator K é avaliado, adimensional;
- P = fator prática de controle da erosão; definido pela relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, adimensional.

O modelo se aplica para estimativa das taxas de perda de solo por erosão e para seleção de práticas agrícolas, quando então é fixado um valor máximo de perda de solo referido por perda tolerável ou tolerância de perda de solo (valor T).

3.3.6 Erosão Linear

Em Wiell e Pires Neto (2005), citado por Santos (2007), a erosão linear é considerada como sendo um processo em que ocorre o destacamento e transporte de solo devido à ação da enxurrada ou do escoamento superficial concentrado (runoff). A erosão linear aumenta com o aumento do volume da enxurrada. O volume da enxurrada é uma função não apenas da intensidade da precipitação, mas da posição na paisagem, do tipo de solo, da cobertura vegetal e do comprimento e da inclinação da encosta. Onde o terreno apresenta encostas curtas, a maior parte da erosão se relaciona com a erosão laminar. À medida que as encostas se alongam, o processo de erosão linear passa a ser dominante. Na erosão linear, o material que é desprendido e deslocado pela ação da enxurrada apresenta granulometria semelhante à do solo original, não sendo concentrado em relação às partículas mais finas.

O estágio inicial e mais importante do processo erosivo vem a ser, portanto, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo descoberto, provocando a ruptura dos agregados e a liberação das partículas. O transporte das partículas nessa fase pode se dar por fluxo superficial raso, cuja capacidade erosiva é aumentada pela turbulência do impacto das gotas. O impacto das gotas de chuva

contribui para o processo erosivo de três formas: (i) desprendendo as partículas do solo no local do impacto, (ii) transportando por salpicamento as partículas desprendidas e (iii) imprimindo energia, em forma de turbulência, à água superficial. Em áreas planas, onde o escoamento superficial não é favorecido, as partículas individuais podem preencher os poros existentes no topo do solo, diminuindo a porosidade do mesmo, aumentando a densidade e contribuindo para a formação de crosta superficial. A formação de crosta diminui consideravelmente a infiltração de água no solo. Na eventualidade de um evento posterior a chuva, o escoamento superficial será favorecido, tendo em vista a impermeabilização do topo do solo, aumentando desta maneira a erosão superficial. A infiltração de água no solo representa a entrada da água através da interface solo-atmosfera. O termo taxa de infiltração se refere à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Experimentalmente, foi comprovado que durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante conhecido como “capacidade de infiltração”. Uma vez saturado o solo, se a intensidade de precipitação é superior à capacidade de infiltração de água no solo, começam a se formar poças à superfície, preenchendo as irregularidades do terreno.

A formação de poças na superfície do solo é o estágio que antecede o escoamento superficial, uma vez que, preenchidas as irregularidades, as poças podem se ligar umas às outras, dando início ao escoamento superficial. Inicialmente, o processo é difuso, na forma de um fluxo laminar. Com o aumento do volume de água, pode-se formar um fluxo linear. A remoção de partículas pelo fluxo superficial é atribuída à força de cisalhamento exercida pela enxurrada, à medida que esse fluxo aumenta sua profundidade morro abaixo.

A erosão linear causa o desenvolvimento de três tipos de feições erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas, como observado na Figura 5.

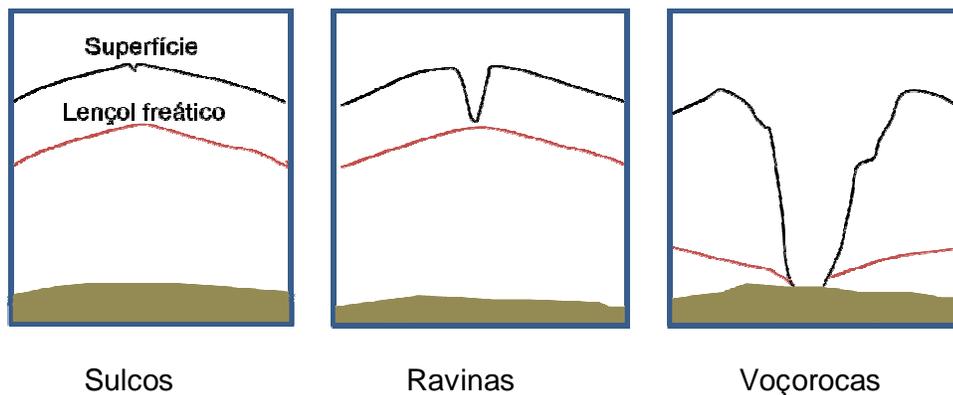


Figura 5- Sulcos, Ravinas e Voçorocas

3.3.7 Sulcos

Segundo Bahia et al.(1992), a erosão em sulcos caracteriza-se pela formação de canais sinuosos. Esse tipo de erosão resulta da concentração da enxurrada em alguns pontos do terreno, em função de pequenas irregularidades na declividade, que atinge volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos. Esse tipo de erosão, em sua grande maioria, é ocasionada por chuvas de grande intensidade, em terrenos de elevada declividade.

3.3.8 Ravinas

Wiell e Pires Neto (2005), citado por Santos (2007), argumentam que a remoção de partículas pelo fluxo superficial é atribuída à força de cisalhamento exercida pela enxurrada e, à medida que este fluxo ocorre, sua profundidade vai aumentando morro abaixo.

Esta etapa da erosão é considerada incipiente, local e envolve apenas o transporte de partículas individuais do solo. A evolução do fluxo linear e a elevada concentração de sedimentos em seu interior acarretam forte atrito entre as partículas e o fundo dos pequenos canais, elevando a taxa de erosão nesses canais. O desenvolvimento de microrravinas constitui um novo estágio de evolução do escoamento superficial, no desenvolvimento de ravinas ou microcanais. Durante este estágio, a água escoar de forma concentrada em canais bem definidos, mas ainda pequenos, sendo que a turbulência do fluxo aumenta bastante nesse estágio.

Como descrito por Vieira (1978), citado por Salomão (1999), o processo de ravinamento em função da erosão superficial, com a linha de água em grandes declividades, canais profundos, estreitos e longos constituem, claramente, uma consequência imediata dos sulcos, formados preliminarmente. A presença de ravinhas que persistem no mesmo local, na maioria dos casos, evolui para voçorocas.

3.3.9 Voçorocas

Segundo Guerra e Guerra (1997), as voçorocas são definidas “como sendo escavação ou rasgão do solo ou de rocha decomposta, ocasionado pela erosão do lençol de escoamento superficial”. As voçorocas, segundo Fendrich (1984), citado por Ziolkowski et al. (1998), podem ser classificadas levando-se em consideração o tamanho e sua complexidade. No Quadro 1, são mostradas as classes de tamanho das voçorocas .

Quadro 1- Classificação das voçorocas em relação ao tamanho.

CLASSE	PROFUNDIDADE	ÁREA DRENANTE
Pequena	< 1 m	2 ha
Média	1 a 5 m	2 a 20 ha
Grande	> 5 m	> 20 ha

Fonte: Fendrich, (1984).

Levando-se em conta a complexidade das voçorocas, estas podem ser classificadas como:

- A) voçorocas simples: são compostas por perfis geológicos constituídos somente de solos arenosos, diferenciados apenas por suas granulometrias.
- B) voçorocas complexas: quando, entre as camadas arenosas, intercalam-se camadas argilosas.

3.3.10 Fatores condicionantes da Erosão

Os fatores condicionantes da erosão, segundo Weill e Pires Neto (2005), citado por Santos (2007), são divididos em dois conjuntos. O primeiro conjunto, natural, é constituído pelos fatores “clima”, “relevo” e “tipo de solo”, os quais caracterizam o potencial natural de erosão em dado local, uma vez que são recursos naturais não controlados nem passíveis de remoção pelo homem. O segundo conjunto, antrópico, é constituído pelos fatores “tipo de uso”, “manejo” e “práticas conservacionistas do solo” Tais fatores, considerados antrópicos, podem ser alterados tendo-se em vista o controle da erosão. As variações, em ambos os conjuntos, de cada um dos fatores condicionantes e a interação entre eles, determinam as variações na intensidade e no tipo da erosão. Os principais fatores condicionantes serão abordados a seguir.

3.3.11 Metodologia para tratar da erosão

Pejon e Zuquette (1993); (2001) abordam o tema da erosão como um processo de degradação ambiental que sempre afeta a população de forma direta ou indireta. Para tratar deste tema, Pejon e Zuquette (1993);(2001) criaram uma metodologia que tem como finalidade a obtenção da carta de predisposição a erosão acelerada. A metodologia desconsiderou a influência da ação antrópica e da cobertura vegetal, somente os fatores naturais do meio físico relacionados aos fenômenos erosivos foram levados em consideração. A metodologia desenvolvida visa à quantificação das áreas mais favoráveis ao desenvolvimento dos processos erosivos.

Primeiramente, é determinado o potencial de escoamento superficial das águas de chuva, através de pesos atribuídos ao meio físico, os quais estão relacionados diretamente aos processos de escoamento superficial. Essa determinação segue os procedimentos adotados pelo serviço de conservação dos solos dos Estados Unidos da América. Os atributos do meio físico são divididos em: declividade, litologia, densidade de drenagem, feições de armazenamento superficial, textura, gênese e espessura dos materiais inconsolidados Quadro 2.

Quadro 2- Pontuação dos atributos do meio físico utilizado na elaboração da carta de potencial ao escoamento superficial.

Escoamento Superficial Aumenta											
Classes de Escoamento	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Total de Pontos das Classes	272 -	249 -	229 -	209 -	189 -	169 -	149 -	129 -	109 -	89 -	
	250	230	210	190	170	150	130	110	90	70	
Classes de Declividade	C4		C3	C2	C1	B2	B1	A2	A1		
	(90)		(75)	(66)	(60)	(45)	(36)	(24)	(15)		
Litologia	Argilitos/Siltitos Folhelhos Formações Irati e Corumbataí (40)		Argilitos/Siltitos Formação Itararé Magmatitos Básicos Formação Serra Geral (30)		Arenitos/Siltitos arenosos/Diamectitos Formações Itararé e Tatuí (20)		Arenitos Formações Itaqueri E Itararé (16)		Arenitos Formações Pirambóia e Botucatu (10)		
MAT. INCOSOLIDADOS	Textura Gênese	Silito-argilioso Residual (40)		Argilo-siltoso Residual (30)		Argiloso poroso Retrabalhado (20)		Arenoso (<30% finos) Res. e Retrab. (14)		Arenoso (<20% finos) Res. e Retrab. (10)	
	Espessura (m)	Menor que 0,50 (30)		0,50 a 3,0 (20)		3,0 a 5,0 (16)		Maior que 5,0 (10)			
	Permeabilidade (m/s)	Menor que 10^{-7} (12)		10^{-7} (8)		10^{-6} (7)		10^{-5} (6)		Maior que 10^{-4} (5)	
Densidade de Drenagem (canais/Km)	Mais que 5 (30)				5 a 2 (20)			Menos que 2 (10)			
Feições Favoráveis ao Armazenamento Superficial	Não Apresenta (30)				Lagoas, pequenas depressões (pequena quantidade) (20)			Lagoas, pequenas depressões (grande quantidade) (10)			

(20) – número de pontos das classes de cada atributo

MAT. INC. – Materiais Incosolidados

Fonte: Pejon; Zuquette (1993)

Para a classificação dos pontos de cada atributo do Quadro 2, deve-se obedecer à seguinte sequência:

- A) Analisar a variação de cada atributo na área estudada.
- B) Para cada atributo, de acordo com sua variação, estabelecer classes que tenham comportamento semelhante quanto ao escoamento superficial.
- C) Considerando ainda cada atributo isoladamente, dispor as classes em ordem crescente quanto ao seu potencial de escoamento superficial.
- D) Analisar o conjunto obtido pela associação das classes de menor potencial ao escoamento de cada atributo. Em seguida, atribuir uma pontuação a cada uma dessas classes. Quanto maior a classe, maior a importância de cada atributo em relação aos demais, nesta situação de mínimo potencial ao escoamento superficial da região.
- E) Verificar qual o atributo que apresenta o maior número de classes de escoamento definidas no item B e, a partir da pontuação mínima definida no item D, estabelecer o número de pontos das demais classes desse atributo. Deve-se conceder maior número de pontos de acordo com o aumento da influência no processo de escoamento com a variação do atributo considerado. Por exemplo, as classes de declividade elevada devem receber pontuação maior do que as de baixa declividade.
- F) Analisar o conjunto que define a condição de maior potencial ao escoamento superficial na região representado pela associação de todas as classes de maior potencial estabelecidas no item C, para cada atributo. A partir do número de pontos da classe de maior potencial ao escoamento superficial do atributo analisado no item E, atribuir os pontos às classes dos demais atributos, de maneira a refletir a importância de cada um, nesta situação de alto potencial ao escoamento superficial.
- G) Estabelecida a pontuação máxima e mínima para cada atributo, proceder à atribuição dos pontos para as classes intermediárias, considerando novamente a influência que a variação do atributo ocasiona no processo de escoamento superficial.

Após a primeira etapa, é determinado o índice de erodibilidade. Este índice é baseado em dois ensaios: o de absorção de água e o de perda por imersão. As amostras indeformadas dos ensaios devem ser coletadas em anéis de PVC de 40 mm de diâmetro e 20 mm de altura.

O ensaio de absorção de água (S) é realizado medindo-se o volume de água absorvida pela amostra, sem gradiente hidráulico, por períodos de tempo. Os valores de água absorvida e os tempos devem ser plotados em um sistema cartesiano em que na abscissa devem ser colocadas as raízes quadradas do tempo (minutos) e nas ordenadas, a razão de absorção(q), ou seja, centímetros cúbicos de água por centímetro quadrado da área da amostra. Em seguida, deve-se obter uma regressão linear calculando-se $S=q/t^{1/2}$, que consiste em um índice de absorção de água. A Figura 6 mostra um exemplo de como são realizados os gráficos para obtenção deste índice.

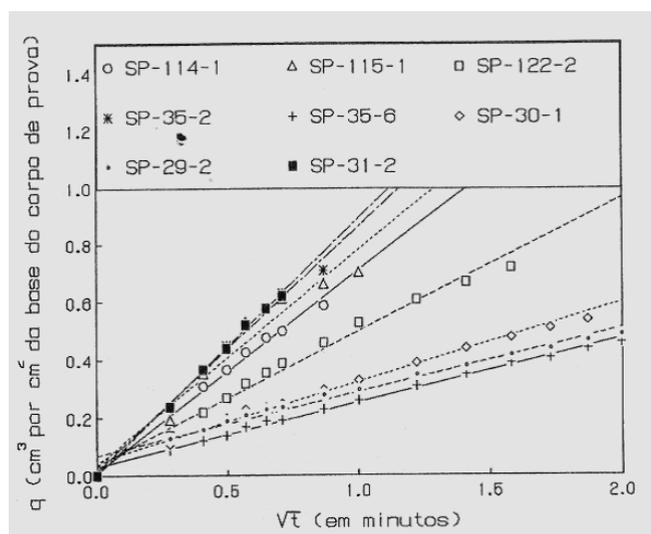


Figura 6- Exemplo de gráficos realizados para a obtenção do índice de absorção de água.

Fonte: Pejon; Zuquette (1993)

A perda por imersão (p) é realizada após o ensaio de absorção, no qual a amostra ainda no anel deverá ser imersa em água no interior de uma cápsula, mantendo-se a maior dimensão na posição vertical, com a parte inferior a 30 mm da base da vasilha. Após 24 horas, deve ser coletado o material que se destacou da superfície livre da amostra; esse deve ser secado e pesado, afim de se obter a perda de peso (em porcentagem).

Segundo Nogami e Vilibor (1979), citado por Pejon e Zuquette, (1993), deve-se mostrar um gráfico S x P onde os materiais erodíveis são repassados dos não erodíveis. O cálculo do índice de erodibilidade (E) deve ser realizado de acordo com a expressão:

$$E = 52S/P$$

Equação II

Se o valor de E for maior que 1, o material apresenta baixo índice de erodibilidade. O resultado deve ser analisado e, se não forem adequados para caracterizar os materiais da área de estudo, pode-se reescrever a equação da erodibilidade. Como exemplo:

$$E=40S/P$$

Equação III

A carta de predisposição à erosão acelerada deste documento cartográfico adotou uma sistemática semelhante à utilizada para carta de potencial ao escoamento superficial, ou seja, os diversos fatores intervenientes no processo acelerado foram hierarquizados através de uma pontuação, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3- Pontuação dos atributos considerados na elaboração da carta de predisposição a erosão acelerada.

Predisposição à erosão aumenta										
Classes de Risco Potencial à Erosão	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Total de Pontos das Classes	120 -	110 -	100 -	90 -	80 -	70 -	60 -	50 -	40 -	30 -
	111	101	91	81	71	61	51	41	31	20
Classes de Declividade	10 9 8 7 6 5 4 3 2 1									
	(40) (35) (30) (25) (20) (15) (13) (10) (8) (5)									
Índice de Erodibilidade	Alta Erodibilidade (20)					Baixa Erodibilidade (5)				
M A T. I N C O S O L I D A D O S	Textura	Arenosa (<20% de finos) (30)		Arenosa (<20% de finos) (20)		Silto-Argilosa (10)		Argilo-Siltosa (5)		
	Profundidade	Maior que 5 (30)		5 a 3 (20)		3 a 0,5 (10)		Menor que 0,5 (5)		

(20) – número de pontos das classes de cada atributo

MAT. INC. – Materiais Incosolidados

Fonte: Pejon; Zuquette (1993)

O estabelecimento de uma carta com dez classes de precipitação à erosão, baseada na pontuação dos atributos, permite assim uma classificação relativa entre as diversas zonas, uma vez que todas as classes foram analisadas frente aos mesmos atributos e com pesos idênticos.

3.3.12 Fatores Naturais

3.3.12.1 Chuva

A erosão do solo pela ação da chuva ocorre através do impacto das gotas sobre a superfície do solo. A Figura 7 ilustra a desagregação causada pelo impacto da gota de chuva, e a Figura 8 mostra esquematicamente a alteração da superfície do solo decorrente do impacto da gota.



Figura 7- Desagregação do solo causada pelo impacto da gota de chuva.
Fonte: Foto extraída do trabalho de Ritter, (2006), citado por Santos (2007).



Figura 8- Esquema da desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva ou da água de irrigação
Fonte:(Extraído do trabalho de Ritter (2006), citado por Santos (2007).

A atuação da chuva é considerada como um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. A erosão derivada da ação das chuvas ocorre em função da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade da chuva pode ser considerada como o fator pluviométrico mais importante na erosão, pois quanto maior a intensidade, maiores serão as perdas por erosão. Outro fator que completa a intensidade é a duração da chuva. A combinação desses dois fatores é que irá determinar a chuva total. Devido ao fato de cada solo apresentar uma capacidade de infiltração específica é que se deve levar em consideração a duração da chuva, pois quando a capacidade de retenção de água atinge o seu limiar, o fluxo superficial formado é elevado, causando acentuada erosão. Quando os intervalos entre as chuvas são curtos, os teores de umidade apresentados pelo solo são elevados, o que favorece fluxos superficiais mais volumosos.

3.3.12.2 Cobertura Vegetal

Segundo Ferreira (2007), pode-se considerar que a intensidade dos processos erosivos está relacionada não somente com a disponibilidade de água, mas também com a cobertura vegetal presente no solo. Como exemplos, temos as regiões quentes com altos índices de precipitação. Nesse caso, a vegetação natural exuberante fornece grande proteção ao solo, prevenindo ou minimizando, desta forma, o efeito dos agentes erosivos. Nos trópicos, é encontrada situação contrária, pois com a remoção da cobertura vegetal original, as chuvas pesadas promovem muito mais danos ao solo do que as chuvas mais suaves dos climas temperados. A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão (SALOMÃO; IWASA, 1995).

3.3.12.3 Topografia

A velocidade com que os processos erosivos ocorrem pode ser influenciada pelo tipo de topografia apresentada pelo terreno. Relevos acidentados, geralmente, apresentam velocidades de erosão maiores do que quando comparados com relevos suaves (Salomão; Iwasa, 1995). Em áreas com altas declividades, há o favorecimento da concentração e maiores velocidades de escoamento superficial

das águas, aumentando, desta maneira, através da topografia, a capacidade erosiva.

3.3.12.4 Solos

A erosão ocorre de maneiras diferentes dependendo do tipo de solo (Bertoni; Lombardi Neto (1999)). As diversas combinações existentes entre as propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo, é o fato que causa as diferentes influências na erosão. A maior ou menor resistência à ação das águas está relacionada com as condições físicas e químicas apresentada pelo solo. As propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo influem no tipo de agregação apresentado pelas partículas, aumentando ou diminuindo a resistência do solo à erosão.

De acordo com Salomão e Iwasa (1995), outros fatores que relacionam a ocorrência dos processos erosivos com tipo de solo são a permeabilidade, textura (tamanho das partículas), estrutura e densidade do solo. O conteúdo de matéria orgânica incorporada é uma característica importante apresentada pelo solo, pois quanto maior a concentração de matéria orgânica, maior será a agregação e a coesão entre as partículas, tornando o solo mais estável na presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção de água.

3.3.12.5 Ação Antrópica

Com a retirada da vegetação natural para implantação das diferentes atividades antrópicas (desmatamento e formas de uso e ocupação do solo para a agricultura, obras civis, urbanização), ocorre a pior situação “solo desnudo”. Nesta condição, os agentes causadores dos processos erosivos são favorecidos, ocasionando consequências diretas e cada vez maiores para o meio ambiente.

3.4 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise

As atividades humanas muitas vezes agridem a natureza tanto direta quanto indiretamente. O homem considerava-se superior e, assim, utilizava a

natureza da maneira que julgava melhor. Uma justificativa para a mudança desse conceito sobre a natureza foram os questionamentos os que surgiram sobre os recursos naturais de que dispomos, pois tais recursos não são inesgotáveis, sendo alguns não renováveis e outros renováveis. É o uso racional deles que determinará o seu não esgotamento. Os principais processos naturais e antrópicos que trazem problemas à população são erosão, desmatamento para uso da agricultura, assoreamento dos cursos d'água e inundações frequentes. Para enfrentar esses problemas, deve-se ter uma política clara e um planejamento adequado ao meio ambiente.

Catanoce (2002, p.48) entende que “O planejamento é uma ferramenta indispensável para orientar o desenvolvimento de uma região, fornecendo os subsídios necessários ao manejo ambiental, com a meta específica de melhorar as condições de vida das populações”. Portanto, uma forma de delimitar a área a ser planejada é delimitar a bacia hidrográfica, que serve de recorte espacial para a elaboração do Plano Diretor de drenagem e o Gerenciamento da Bacia, Zoneamento (Geo) Ambiental. O planejamento de bacia hidrográfica fornece diretrizes gerais para compatibilizar o desenvolvimento das atividades econômicas com as necessidades de proteção, recuperação e conservação dos recursos hídricos e outros recursos naturais da bacia.

A Resolução 001/86 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), ao apontar as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental em seu Artigo 5º, recomenda as seguintes diretrizes gerais no apontamento III: “definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.” Assim, a resolução considera a bacia hidrográfica como área de influência. A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo tem sido defendida em diversos trabalhos, como em Santos (2007) e em Neves (2005).

Serão abordados alguns trabalhos que denotam maior interesse no uso da bacia como unidade de análise ambiental.

Lana (1995), em sua obra “Gerenciamento de Bacia Hidrográfica” aborda as causas e os problemas ambientais, o enfoque econômico aplicado, a gestão ambiental, os modelos de gerenciamento e as experiências e propostas para

implantação do gerenciamento da bacia hidrográfica. Esta obra serve de diretrizes para o gerenciamento da bacia hidrográfica.

Moraes (2003) abordou o emprego de duas metodologias para realizar o zoneamento ambiental na bacia hidrográfica do Rio Bonito (SP), vizinha da área atual de estudo da presente pesquisa. Com o ajuda da tecnologia de geoprocessamento, foi realizado o processo de análise das metodologias analíticas e sintética.

A abordagem sintética, utilizada por diversos autores (Tagliani 1995; Paese (1997); Pivello et al. (1998); Henrique (2000), citado por Moraes (2003), permite identificar os aspectos ambientais característicos de uma área e as inter-relações existentes entre os elementos que compõem a área em particular. Os simpatizantes de tal abordagem destacam que sua grande vantagem é fornecer uma visão global do meio, de forma eficiente e rápida. A compreensão das interações entre as paisagens ou suas unidades homogêneas permite a visão holística e sintética do território, necessária ao planejamento ambiental e, conseqüentemente, ao zoneamento ambiental (PIVELLO et al. 1998) citado por MORAES (2003).

A abordagem analítica avalia a confecção de mapas relativos aos fatores ambientais (cobertura vegetal, tipos de solo, embasamento geológico e declividades) para posterior sobreposição. A metodologia analítica visa à avaliação ambiental de acordo com conceitos de fragilidade, originando os mapas de restrição e aptidão. Esse método tem sido muito utilizado na elaboração de propostas de zoneamento (Souza, 1990), citado por Moraes (2003) em estudos de avaliação de impacto ambiental.

Crepani et al.(2001), em seu trabalho “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico Econômico ao Ordenamento Territorial”, criou uma nova metodologia com o objetivo de subsidiar o zoneamento ecológico econômico. Uma parte desta metodologia será empregada na presente dissertação e será discutida em maiores detalhes no item “metodologia”.

Schiavetti e Camargo (2002) discutem em seu conjunto de obras os estudos realizados com bacias hidrográficas. A interdisciplinaridade das complexas relações envolvidas no processo dinâmico do desenvolvimento regional e a utilização da bacia hidrográfica como unidade ambiental também são abordadas.

A bacia é a unidade básica ideal para a análise ambiental, pois permite conhecer e avaliar seus múltiplos componentes e os processos e interações que

ocorrem no seu interior. A bacia hidrográfica pode ser definida segundo Diedrichs (2002, p. 196) “como sendo uma zona delimitada topograficamente, onde as águas incidentes são drenadas por um sistema fluvial e deságuam em um ponto de cota mais baixo do curso principal de água ou rio”.

Christofolletti (1980,p.102) apresenta a definição de “bacia hidrográfica”:

“a bacia hidrográfica de um rio, até a seção considerada, ou exutório, corresponde à área drenada por um conjunto de rios de ordem secundária convergindo para o rio principal, sendo delimitada pelo divisor de água que é representado pelos pontos mais elevados do relevo que separam as bacias adjacentes”

A adoção da bacia hidrográfica na maioria dos casos, quando não envolve análise socioeconômica e estudo de flora e fauna, é de grande aceitação porque constitui um sistema natural bem delimitado e até mesmo caracterizado.

A bacia hidrográfica, segundo Christofolletti (1980), pode levar à compreensão de numerosas questões geomorfológicas, pois as componentes do ambiente interagem entre si formando um sistema que definirá a paisagem geográfica. Um sistema pode ser definido conforme Bertalanffy 1973, citado por Sales (2004, p. 126), “Como um conjunto de elementos que se relacionam entre si, com certo grau de organização, procurando atingir um objetivo ou uma finalidade”.

Uma vez delimitado o sistema dentro do conjunto constituinte, pode-se observá-lo em várias escalas, que estão organizadas de forma hierárquica (CHORLEY; KENNEDY 1971 citado por, TROPPEMAIR, 2000). O sistema bacia hidrográfica é composto por vários elementos dentro de sua escala, mas, dependendo de qual for analisada, deve-se observar que cada sistema pode passar a ser um subsistema.

A escala “é, na realidade, a medida que confere visibilidade ao fenômeno” Castro (2003, p.123). Assim, no intuito de sintetizar tantas informações de uma bacia hidrográfica e se aproximar do “mundo real”, é necessário contar com tecnologias do geoprocessamento.

3.5 Geoprocessamento

As tecnologias do geoprocessamento e também os sistemas de informação geográfica podem ajudar na tomada de decisões para o planejamento ambiental e o gerenciamento de recursos hídricos. O sistema de informação geográfica (SIG) contribui para a análise dos fatores e fenômenos do espaço geográfico com maior rigor e precisão e também para atualização dos dados num intervalo de tempo cada vez menor (COSTA, SILVA, 2004).

O geoprocessamento, segundo Mendes e Cirilo (2001), é considerado o “modelo dos modelos”, pois tem uma facilidade de comunicação na qual explica a complexidade do “mundo real” em forma de modelos. Em termo de estrutura de dados do “mundo real”, o geoprocessamento utiliza os conceitos de pontos, linhas, polígonos, grades etc. O geoprocessamento é considerado como sendo estático, e os processos na bacia hidrográfica, como dinâmicos. Então, ao trabalhar com dados do mundo real, é necessário ter esta percepção, pois isso acarreta limitações da representação da realidade natural. A Figura 9 exemplifica as diferentes formas de o usuário abstrair via geoprocessamento o “mundo real”, podendo, assim, representar, simular e gerenciar os dados. O processo de passagem do “mundo real” para dentro do computador é através de banco de dados que o ser humano controla para gerar seu produto derivado com mapas, gráficos, tabelas etc.

Os termos “geoprocessamento” e “sistema de informação geográfica” em alguns casos são confundidos como sinônimos, mas são casos diferentes.

De acordo com Santos, Pina, Carvalho (2000, p.14).

O geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento de manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, se destacam: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de sistemas de posicionamento global – GPS e os sistemas de informações geográficas – SIG. Ou seja, o SIG é uma das técnicas de geoprocessamento, a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais, mais nem todo o geoprocessamento é um SIG.

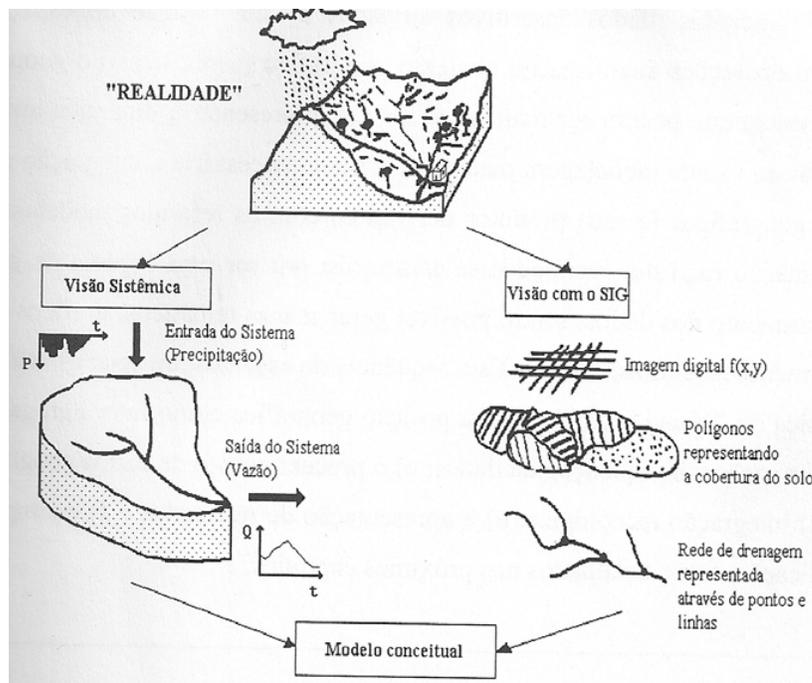


Figura 9- Diferentes visões de uma mesma "realidade"

Fonte: Mendes Cirilo (2001p. 53)

Para geração de rotina e simulações do "mundo real", é necessário entender como são os dados de entrada do modelo.

Os dados são definidos como uma representação simbólica dos fatos ou algoritmos adequados à comunicação que não possuem significado próprio e podem ser representados de forma gráfica, numérica ou alfanumérica. Para que os dados transmitam alguma informação, é necessário que haja um significado, o qual é atribuído pelo ser humano. Em geoprocessamento, temos a informação geográfica cujo significado complementa uma natureza espacial referente à localização do objeto de estudo. "Dado geográfico" é um termo genérico que designa os dados referentes aos objetos de uma determinada superfície de localização em qualquer escala. Os dados de entrada são atributos resultantes da observação dos três tipos de fenômenos (espacial, temporal, espaço-temporal), os quais dependem da natureza geográfica que os constituem. Qualquer um dos três fenômenos pode ser representado e manipulado no geoprocessamento.

As características dos dados podem ser armazenadas em uma matriz geográfica na qual suas colunas e linhas vão conter informações como (temperatura, densidade populacional, rio, quadras, entre outras). As informações, inseridas na

matriz geográfica, estão associadas às características dos dados, como variáveis, classes, nomes, valores e localização espacial (MENDES ; CIRILO, 2001).

Dados espaciais estão relacionados aos fenômenos aos quais permaneçam associadas algumas dimensões espaciais. São basicamente dois modos de representação dos dados espaciais: matricial e vetorial.

3.5.1 Dados Vetoriais

Nas estruturas vetoriais (Figura 10) o espaço geográfico é representado como contínuo, seguindo o postulado da geometria euclidiana (vetor: ponto, linha, polígono), permitindo, desse modo, que as localizações, distâncias e áreas possam ser calculadas com um bom grau de precisão. O modo de localização e feição gráfica de cada objeto é representado por um ou mais pares de coordenadas (CAMARA ; MONTEIRO, 2009).

- O ponto, representado por um par de coordenadas (X,Y) , é utilizado para representar entidades cuja forma não é significativa, tendo como exemplo a localização das árvores em uma cidade.
- As linhas poligonais, arcos ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados, os quais devem armazenar informações sobre os dados. Quando uma linha passa a ter um atributo (Z) qualquer, além das coordenadas (X, Y) dos pontos que a constituem, é chamada de “isolinha”. Ao longo de uma isolinha, todos os pontos têm o mesmo valor de Z (INPE 2010). São usualmente utilizados para representar objetos de forma lineares, tais como: hidrografia, ruas, entre outros.
- Os polígonos são uma região no plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima. São utilizados para representar entidades cujas áreas são importantes, tais como limites de cidades, estados, elementos em mapas de uso do solo, lagos, entre outras.

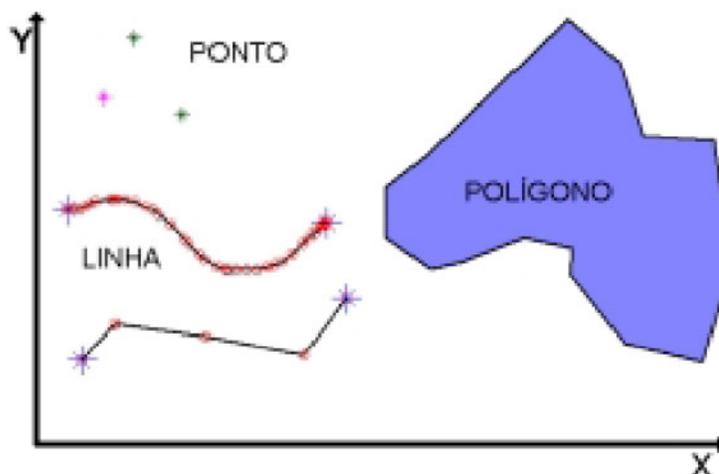


Figura 10- Elementos de representação vetorial

Fonte: Camara; Monteiro(2009)

A representação vetorial de pontos, linhas e polígonos são simulados em objetos geográficos com representações conhecidas como “nós”, “pontos”, “arcos”, “isolinhas”, “ilhas”, “linhas poligonais” e “polígonos” (INPE, 2010).

- Arco é um conjunto de pontos interligados por segmentos de reta que começa e termina em um nó.
- Nó é uma intersecção entre duas ou mais linhas, correspondente ao ponto inicial ou final de cada linha.
- Ilha é um tipo especial de polígono delimitado por um único arco, apenas um nó define o ponto inicial e final do polígono, uma vez que não há polígonos adjacentes.
- Linha poligonal ou Polígono aberto é formado por um conjunto de pontos interligados por segmentos de reta que começam e terminam em um nó (um exemplo é um rio). Uma linha poligonal não define uma área (polígono).
- Isolinha é uma linha poligonal em que é atribuído um único valor Z (um exemplo são as curvas de nível em uma carta topográfica).

A disposição dos pontos, das linhas e das áreas requer um desenvolvimento de modelo de topologia entre estas entidades para que haja uma relação entre elas. Assim, a topologia é a conexão ou adjacência entre os elementos vetoriais que determinam a relação de espaço em um SIG. Através da topologia, é determinado exatamente como e onde as linhas apontam e se conectam em um mapa por meio de nós (MENDES; CIRILO, 2001).

3.5.2 Dados em Formato Raster (matriz)

Nas estruturas matriciais (rastear), o espaço é representado de forma discreta utilizando-se uma malha regular (também pode ser triangular ou hexagonal) onde o encontro de linhas e colunas define uma unidade de informação (quadricula), também denominada de célula ou pixel (picture element) Figura 11.

A representação do espaço, em forma de matriz de pixel, varia muito dependendo da escala de seu trabalho. Cada célula está associada com uma medida quadrática de terreno. “A resolução ou escala dos dados raster é, portanto, a relação entre o tamanho da célula no banco de dados e o tamanho da célula no terreno”. Assim, a precisão está ligada ao tamanho da célula (MENDES; CIRILO, 2001,p.67).

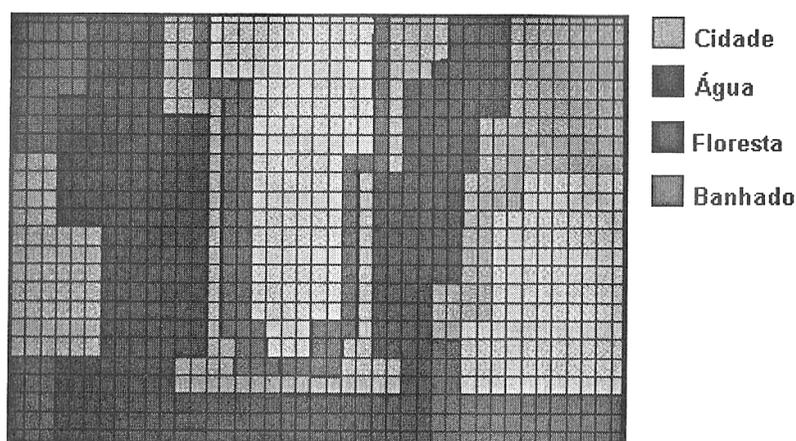


Figura 11- Representação matricial (ou raster).
Fonte: Mendes;Cirilo (2001,p.68)

A resolução espacial determina o nível de detalhamento de objetos que estarão inseridos na imagem. A resolução pode ser definida como o número de pixels presentes na imagem digital. Assim, quanto maior for a resolução, mais detalhes serão apresentados na imagem. Dessa forma, em um sistema com resolução espacial de 30 metros, objetos menores que 30 metros não serão visualizados.

Nas imagens binárias com 1 bit, cada pixel corresponde ao valor do bit 1 (preto) e do bit 0 (branco). Imagens em tons de cinza com 8 bits são representadas por 1 bit entre o intervalo de 0 a 255 bits. O valor 0 corresponde à cor preta, e o valor 255, à cor branca; os valores intermediários correspondem às tonalidades de cinza (Figura 12).

As imagens digitais são tipicamente representadas como composições aditivas de cores que utilizam as três cores primárias: vermelho, verde e azul (RGB). Nas imagens coloridas, cada pixel é representado por três bits usualmente associado para o padrão RGB. Cada componente do RGB tem seus pixels no intervalo de (0 a 255).



Figura 12- Níveis de Cinza equivalente.

3.5.3 Banco de dados

A inserção dos dados dentro do computador não garante uma representação fiel da realidade. Assim, a matriz de dados geográficos tem que ser transformada em uma matriz modificada de dados (Figura 13) para que, por exemplo, seja identificada a relação entre os parâmetros de distâncias e a estrutura geográfica dos fenômenos. Assim, o especialista de cada área transforma os conceitos de sua disciplina em representação computacional (CAMARA; MONTEIRO, 2009).

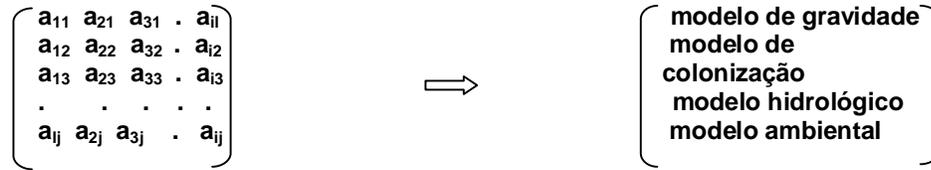


Figura 13- Esquema de transformação da informação geográfica em modelagem dos processos atuantes no sistemas geográficos.

Fonte: Mendes ;Cirilo (2001, p. 31)

Após essa transformação de arcabouço conceitual em representação computacional, a escolha da utilização do SIG é a melhor forma de traduzir o “mundo real”. Através do SIG, é possível integrar a base espacial de referência e as informações em torno de uma entidade particular, o mapa, obtendo-se um banco de dados georreferenciado com uma fonte única que relaciona todos os seus aspectos (MENDES; CIRILO, 2001).

Os dados de SIG são geralmente organizados sob a forma de um banco de dados geográficos. Os SIGs tradicionalmente armazenavam os dados geográficos em arquivos internos, mas esses podem ser substituídos por SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados). O relacionamento de forma hierárquica SIG possui os seguintes componentes de interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e impressão e armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos) (Figura 14). De forma geral, todos os componentes devem estar presente num SIG.

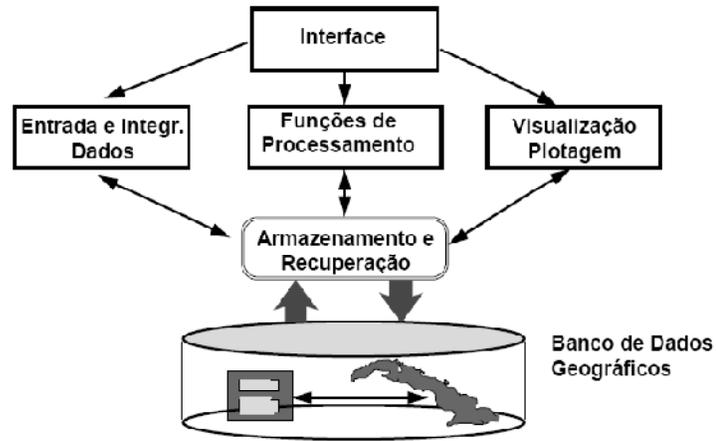


Figura 14- Estrutura geral de sistema de informação geográfica
 Fonte: Câmara et al. (2009).

Os dados georreferenciados da superfície do terreno que compõem um banco de dados podem ser distinguidos de três formas: os espaciais, que indicam uma localização, os não-espaciais, que são descritivos, e os temporais, que indicam quando foram coletadas as variáveis (CÂMARA et al. 2009). A amarração entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é realizada na forma de seleção e consulta.

O usuário de SIG busca consultar os dados geográficos e não geográficos (atributos) permitindo ao usuário armazenar e examinar informações do tipo “onde”, “o que” e “quando”. “Onde” se refere a características espaciais, enquanto “o que” se refere às características não espaciais. Como aponta Câmara et al. (2009 p. 38), podemos citar três exemplos:

- “quando + onde → o que: descreve o conjunto de fenômenos geográficos (o que) presentes em uma localização ou em um conjunto de localizações (onde), dada uma referência temporal (quando). Por exemplo, “Quais os tipos de uso de solo encontrados na Bacia do Rio Piracicaba no período 1980-1995 ?”
- “quando + o que → onde: descreve uma localização ou seu conjunto (onde) ocupado por um ou vários fenômenos geográficos (o que) em um dado conjunto de intervalos de tempo (quando). Por exemplo, “Quais as

áreas no Estado de São Paulo ocupadas por plantações de cana no período 1950-1980?”

- “o que + onde → quando: descreve o conjunto de períodos (quando) em que um determinado conjunto de fenômenos geográficos (o que) ocupou um conjunto de localizações. Por exemplo, “Qual o período em que a região onde hoje se encontra a Unicamp foi ocupada por uma plantação de café?”

Os Sistemas de Informação Geográfica são as ferramentas computacionais para Geoprocessamento, pois permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Conforme a transcrição de Câmara et al. (2009), Câmara; MONTEIRO, (2009 p19.) sobre o SIG, serão demonstrados os principais dados dos documentos cartográficos realizados através do tratamento de dados geográficos em Geoprocessamento, tais como mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens

- **Mapas temáticos**

Mapas temáticos são mapas que mostram uma região geográfica delimitada em polígonos. Seus polígonos vão representar os valores atribuídos a ele, que pode variar de acordo com o tema, podendo ser uso do solo, vegetação, entre outros. Os valores dos dados são em geral inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. A maior parte dos sistemas armazena dados para estes tipos de mapas usando uma representação topológica, em que as arestas determinam os limites entre regiões.

- **Mapas cadastrais**

Mapa cadastral possui em cada um de seus elementos um objeto geográfico, que possui atributos que podem estar associados às várias representações gráficas (por exemplo, lotes de terreno). No exemplo dos lotes, podemos caracterizar cada lote de terreno como sendo um elemento do espaço

geográfico, que possui atributos como dono, localização, IPTU, entre outros. Os dados são em geral armazenados usando-se uma representação topológica.

- **Redes**

Em Geoprocessamento, o conceito de rede denota as informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone. No caso de redes, cada objeto geográfico (cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: os atributos de arcos incluem o sentido de fluxo, e os atributos dos nós, sua impedância (custo de percorrimto). A topologia de redes constitui um grafo, que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas.

- **Modelo Numérico do Terreno**

O termo “modelo numérico de terreno” (MNT) é utilizado para denotar a representação do terreno que varia continuamente no espaço. Entre os usos de modelos numéricos de terreno, pode-se citar:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Um MNT pode se definido com um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (X, Y) em um referencial qualquer, com atributos denotados de (Z), que descrevem a variação contínua da superfície.

- **Imagem**

Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, as imagens representam formas de capturar informação espacial indiretamente. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Após a aquisição de imagens, é necessário recorrer às técnicas de foteointerpretação e de classificação para individualizá-las. Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (resolução radiométrica) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal).

3.5.4 Softwares

A manipulação de grande quantidade de dados cartográficos se torna mais conveniente quando um software especializado em geoprocessamento é utilizado, como por exemplo, o SIG. O SIG supera a simples manipulação de mapas digitais realizada pelo CAD, através de exploração das ferramentas.

O ARC VEIW ou ARC GIS é um sistema de grande utilização e consagração no mercado. Apresenta capacidade relevante quanto à digitalização, modelagem e análise de dados espaciais. Utiliza estrutura topológica, admitindo dados no formato raster e vetorial, além de possuir rotinas de tratamento de imagens (ROSALEN, 2002).

O SPRING é um sistema nacional muito utilizado por entidades de ensino e pesquisa. Tal utilização se deve ao fato, principalmente, deste ser gratuito, de grande maneabilidade e incluir ferramentas voltadas para Geoestatística. O SPRING permite a manipulação limitada de entidades vetoriais e possui rotinas para modelagem numérica de terrenos, tanto para malhas regulares, como irregulares. Foi desenvolvido pelo INPE, a partir do SGI (Sistema Geográfico de Informação) e do SITIM (Sistema de tratamento de Imagens – INPE) (ROSALEN, 2002).

3.6 Estudos de vulnerabilidade à erosão

A metodologia de estudo da vulnerabilidade a erosão da bacia do Ribeirão do Pântano foi selecionada com base nos fundamentos do estudo de Santos (2007).

Santos (2007) buscou, de uma perspectiva ambiental, aplicar cinco metodologias para caracterizar o meio físico e avaliar a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral - MT. O estudo permitiu estimar a suscetibilidade e o potencial à erosão laminar; a vulnerabilidade às perdas de solos, a fragilidade ambiental potencial e emergente, as perdas de solo por meio da equação universal de perdas de solo, bem como o aporte de sedimentos com a utilização da equação de perdas de solo modificada.

A primeira metodologia adotada por Santos (2007) foi a de Salomão (1999), citado por Santos (2007). Tal metodologia determina a suscetibilidade e o potencial erosivo através da construção de uma base do meio físico na área de estudo na qual são cruzadas informações quantitativas sobre a erodibilidade relativa dos solos, declividade dos terrenos, erosividade das chuvas, comprimento das encostas e classes de uso e ocupação do solo (Figura 15).

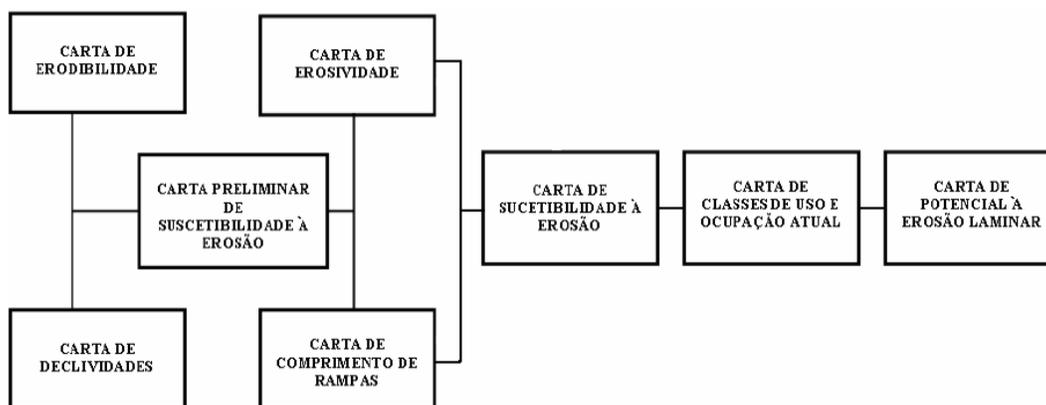


Figura 15- Esquema metodológico para definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar e potencial erosão laminar

Fonte : Salomão (1999) citado por Santos (2007)

A metodologia de análise empírica da fragilidade dos ambientes proposta por Ross (1992;1994;2001; 2004), citado por Santos (2007), sustenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidades intrínsecas entre os componentes físicos e biológicos. Essa metodologia parte do entendimento da relação entre relevo, solo, clima e uso da terra. Após o cruzamento entre cartas, o produto final é, então, obtido (Figura 16). Esses componentes analisados e inter-relacionados geram a carta de fragilidade ambiental, que relata a situação ambiental da área de estudo.

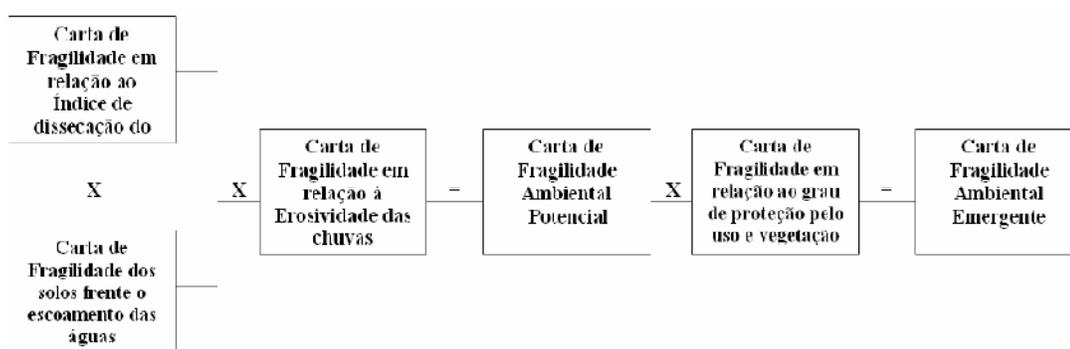


Figura 16- Roteiro com as indicações dos cruzamentos para obtenção das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

Fonte: Santos (2007)

A metodologia de Crepani et al.(2001) foi desenvolvida por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) para ser usada na primeira fase do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. Essa metodologia permite uma análise sintética do ambiente e baseia-se no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977) e tem as imagens de satélite como sua âncora para a definição das chamadas unidades ambientais ou unidades territoriais básicas (UTBs). Tal metodologia facilita a divisão de qualquer região em classes com maior ou menor vulnerabilidade aos processos erosivos. Assim, no interior de cada (UTB) é realizada uma análise ponderada dos temas geomorfologia, geologia, pedologia, clima e uso do solo; após essa análise ponderada, é realizada o cruzamento entre as cartas de vulnerabilidade aos temas. A carta de vulnerabilidade a erosão é o produto final após a gama de cruzamento, a qual é visualizada na Figura 17.

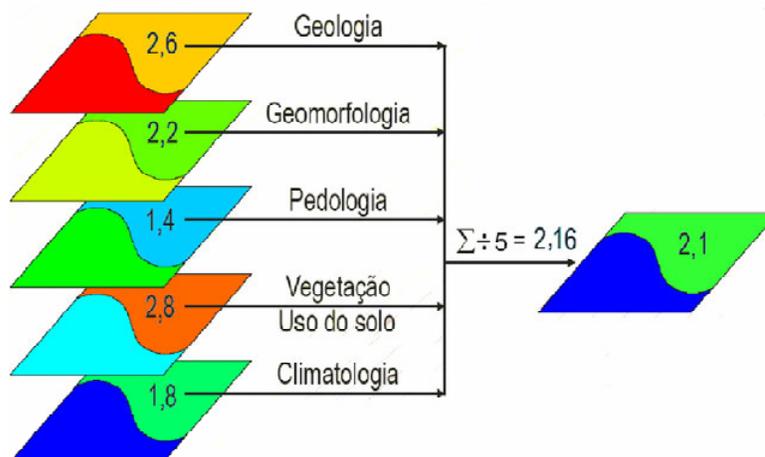


Figura 17- Modelos numéricos para os temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso do solo e clima, com os valores médios de vulnerabilidade ponderados em função do percentual de participação no interior de cada UTB e modelo numérico final obtido pela média dos valores de vulnerabilidade de cada tema no interior das UTBs.

Fonte: Modificado de Souza (1998) apud Santos (2007).

A metodologia da equação universal de perdas de solo (EUPS) (Wischmeier e Smith 1978 apud Santos 2007) baseia-se na aplicação de uma fórmula empírica composta pelos fatores erosividade das chuvas (R); erodibilidade dos solos (k); comprimento de rampa (L); declividade (S); uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{Equação IV}$$

Esse modelo fornece valores estimados para as perdas de solo, tanto natural como por ação antrópica, o que resulta em informações úteis para o planejamento e o manejo de bacias hidrográficas. Porém, o referido modelo necessita de relações empíricas adicionais para a quantificação do aporte de sedimentos. A (EUPS) não serve para estimar as perdas ocorridas em um determinado evento pluviométrico. Willians (1975), citado por Santos (2007), apresentou a Equação Universal de Perdas de Solos Modificada (MEUPS). Esta pode prever o aporte de sedimentos em Bacias Hidrográficas em um dado evento de chuva.

A metodologia de perdas de solos modificada (MEUPS), proposta por Wiliam (1975), citado por Santos (2007), é uma variação do modelo EUPS que prevê

o aporte de sedimentos para eventos de chuvosos isolados. A diferença em relação à EUPS está na substituição do fator erosividade (R) por fatores que contemplam os processos hidrológicos que ocorrem no solo no interior da bacia, como volume de escoamento superficial e vazão de pico do hidrograma de cheia.

Santos (2007) concluiu ao aplicar as cinco metodologias diferentes de análise ambiental o qual utilizou recursos do geoprocessamento para comparar os resultados de cada metodologia aplicada. De modo geral, os resultados da comparação entre as metodologias aplicadas revelaram mais discrepâncias do que coincidências entre os produtos cartográficos.

O resultado constatado em relação ao cruzamento da carta de “Fragilidade Ambiental” e a de “Perdas Médias de Solo” (USLE), bem como entre a “Carta de Potencial à Erosão” e a “Carta de Perda Média de Solo (USLE) e entre as “Cartas de Potencial a Erosão” e “Vulnerabilidade a Erosão” revelou percentuais médios de coincidências espaciais bastante próximas entre si.

A identificação da acentuada discrepância espacial foi observada no resultado com Cartas de “Fragilidade Ambiental” e de “Vulnerabilidade a Erosão”. Há que se ressaltar que essas metodologias de análise ambiental foram formuladas com base nos mesmos princípios: os da Ecodinâmica. A metodologia do INPE difere de “Fragilidade Ambiental” por usar informações sobre a geologia da área.

A carta de “Potencial à Erosão” e “Fragilidade Ambiental” diferem por ter uma elevada disparidade espacial. A diferença ocorreu pelo fato de que a primeira metodologia classificou as áreas pelo predomínio de médio e baixo potencial à erosão, enquanto a segunda, pelo predomínio de áreas de fragilidade forte a muito forte.

O maior percentual de áreas com coincidências espaciais entre classes similares ocorreu no resultado do cruzamento matricial entre a “Carta de Vulnerabilidade a Erosão” e a “Carta de Perdas Médias de Solos” (USLE). A maior parte da bacia nessas duas cartas ficou situada em classes que indicam níveis intermediários de restrição com algumas incompatibilidades no uso. No entanto, a adoção de práticas conservacionistas simples pode combater as perdas de solos nesses locais.

Santos (2007) conclui que somente duas das cinco metodologias foram eficazes em seu resultado espacial. Assim, a presente pesquisa na bacia

hidrográfica do Ribeirão do Pântano selecionou somente uma metodologia: a vulnerabilidade a erosão.

A metodologia do modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é largamente empregada na predição do processo erosivo, tanto para planejamento conservacionista (preventivo) quanto em seu controle.

A USLE foi desenvolvida com base em dados estudados em mais de 10.000 lotes em 50 localidades situadas em 24 estados americanos (as rampas foram definidas com áreas de 22,10 m de comprimento por 1,80 m de largura e 9% de inclinação) com características distintas de clima, solo, relevo e cultivos, as quais foram submetidas exclusivamente a processos de erosão hídrica superficial.

A criação da metodologia de Crepani et al. (2001) é voltada para a realidade brasileira, mais especificamente, ela busca soluções para subsidiar a primeira fase do zoneamento ecológico econômico nos estados da Amazônia legal.

A “Amazônia Legal” abrange os estados que possuem em seu território trechos da Floresta Amazônica, como Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e parte do estado do Maranhão.

O modelo de metodologia escolhido para a presente pesquisa na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano foi a de Crepani et al. (2001), cuja aplicação vem crescendo em diversos trabalhos no Brasil, discutidos abaixo.

Spörl (2001), comparou três modelos metodológicos aplicados aos estudos de fragilidade ambiental. Foi escolhida uma área de estudo que se localiza na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, abrangendo terras dos municípios de São João da Boa Vista (SP) e Poços de Caldas (MG), envolvendo parcialmente as bacias hidrográficas do rio Jaguarim–Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dos três modelos metodológicos aplicados na pesquisa, dois foram propostos por Ross (1994), citado por Spörl (2001), um apoiado nos Índices de Dissecção do Relevo e o outro, nas Classes de Declividade. O terceiro modelo foi proposto pelo INPE (1996) e Crepani et al. (2001) baseado nas Unidades Territoriais Básicas - UTB's.

A metodologia do INPE (1996); Crepani et al.(2001), utilizadas nos estudos de vulnerabilidade à erosão recebem somente a nomenclatura diferenciada, Mapa de Vulnerabilidade Natural a Erosão e Mapa de Fragilidade Potencial Natural, mas ambos são mapeamentos que identificam o grau de resistência ao processo natural à erosão de uma determinada região geográfica.

Com relação às formas de calcular a fragilidade para cada área, o INPE trabalha com valores médios para o produto final, o que acaba gerando grande diferença de resultados. Por outro lado, ROSS trabalha apenas com o agrupamento dos índices das variáveis e adota o relevo como variável principal. As variáveis avaliadas pelas três propostas metodológicas apresentam pequenas diferenças, as quais decorrem de resultados divergentes no Mapa de Fragilidade Ambiental. A aplicação dessas variáveis diferenciadas e as formas distintas no cálculo da fragilidade para cada proposta metodológica acarretam variações no resultado final dos níveis de fragilidade potencial.

Sousa(1999), trabalhou na elaboração de uma carta de vulnerabilidade a erosão em uma área intensamente antropizada do Médio Vale do Paraíba, em São José dos Campos – SP, utilizando a metodologia adaptada daquela proposta por Crepani et al. (1996). As unidades de paisagem natural mostraram certa dependência das características da área de estudo. Para o trabalho em questão, essas foram individualizadas através dos padrões de relevo bastante evidenciados nas imagens orbitais. Além disso, o terceiro nível taxonômico, representado pelos padrões de tipos de relevo, mostrou adequação à resolução dos dados orbitais TM/LANDSAT-5 e ao tipo de abordagem utilizada, de paisagem, para a obtenção do produto final. Essa abordagem, por sua vez, requer a adoção de escalas menores ou iguais a 1:50.000 .

Ainda conforme o autor acima a carta de estabilidade/vulnerabilidade gerada demonstrou, dentro das limitações de escala dos dados temáticos, resultados compatíveis com a realidade verificada na área de estudo. Essa área, em decorrência dos tipos de uso a que foi submetida ao longo de sua historia, apresenta 77,62% de sua área compreendida entre as classes medianamente estável/vulnerável e vulnerável.

Roberto (2002), caracterizou a região do alto rio pardo em Botucatu (SP) utilizando a metodologia de Crepani et al. (2001) para quantificar o grau de vulnerabilidade a erosão. Em cada mapa temático foi realizado uma ponderação para transformá-lo em uma grade retangular numérica, onde cada classe recebe um peso, o qual foi estabelecido a partir da metodologia. De acordo com os resultados obtidos na pesquisas, chegou-se às seguintes conclusões: os dados coletados pelo “Thematic Mapper” do Landsat geraram informações valiosas dos diferentes alvos de ocupação do solo, sendo muito úteis para o seu mapeamento, o qual foi utilizado

como banco de dados para a geração do mapa de vulnerabilidade a erosão. Roberto (2002), conclui que 95% da área apresenta um grau de vulnerabilidade classificado com mediantemente e moderadamente estável.

Gomes (2005), busca aplicar a metodologia para a geração de um mapa de vulnerabilidade à perda de solo, em parte ecológica do ZEE, em uma região do estado de Pernambuco, bem como avalia a possibilidade de se analisar a paisagem de uma forma integrada. O estudo também visa definir áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocupação, seguindo critérios do meio físico e critérios socioeconômicos.

Lossardo (2010), em seu estudo, buscou caracterizar as potencialidades e fragilidades ambientais do meio físico de parte do município de Santa Rita do Passa Quatro, através de três etapas. A primeira etapa consiste na elaboração de um documento cartográfico denominado “Carta de Fragilidade Natural”; em seguida, foi elaborado um documento intermediário denominado “Carta de Fragilidade Potencial”; a terceira etapa consiste na incorporação das categorias de fragilidade com base nas classes de proteção do solo em função da variação da cobertura vegetal da área de estudo, dando origem à chamada “Carta de Fragilidade Emergente”. Esse estudo visa dar subsídios para a tomada de decisões em futuros estudos de planejamento e ordenamento territorial que leve em consideração o indispensável equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e as limitações naturais.

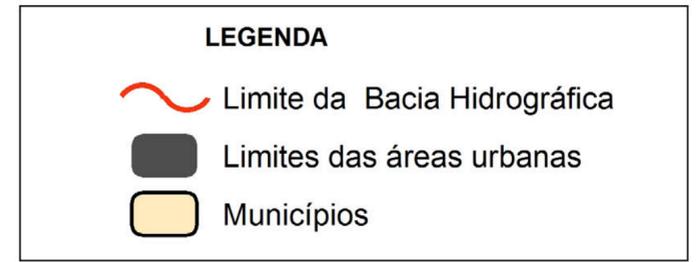
Na área de estudo de Lossardo (2010), não foram encontradas áreas realmente sujeitas a processos de perda de solo. As áreas consideradas moderadamente estáveis estão relacionadas ao solo profundo (latossolo) e à presença da cobertura vegetal mais densa e fechada. As áreas medianamente estáveis ocupam quase 90% de toda a área de estudo, está relacionada às classes de Geologia, Geomorfologia e solos. São superfícies aplainadas, formadas por rochas resistentes ao intemperismo e solos com baixa fertilidade e média profundidade. Existem muitas maneiras de se analisar uma paisagem, e as técnicas podem variar de acordo com o objetivo ou resultado esperado. A metodologia para a obtenção da carta de vulnerabilidade à perda de solo se mostrou eficaz, no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade. Esse tipo de produto poderá ser utilizado em um ordenamento territorial centrado em características físicas e bióticas. A análise socioeconômica pode servir como outra análise,

importante em estudos de gestão territorial, tema que deve ser imprescindível em regiões frágeis, sob o ponto de vista ambiental.

4 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa corresponde à bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, uma sub-bacia do Rio Mogi-Guaçu, na qual inserem parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos (SP), (Figura 18). A bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano está inserida no contexto da Serra Geral, uma macro-feição geomorfológica de grande destaque na porção sudeste da América do Sul.

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano (Figura 19) está introduzida na Área de Proteção Ambiental de Descalvado, criada por lei municipal em agosto de 1996 e implementada em 1997, através de estudos financiados pelo FCNPM - Fundo Nacional do Meio Ambiente - Descalvado (1997). A sua nascente principal, que faz parte da Área de Proteção Ambiental de Corumbataí, localiza-se, segundo Torezan (2005), em uma área que possui alto grau de impacto ambiental.

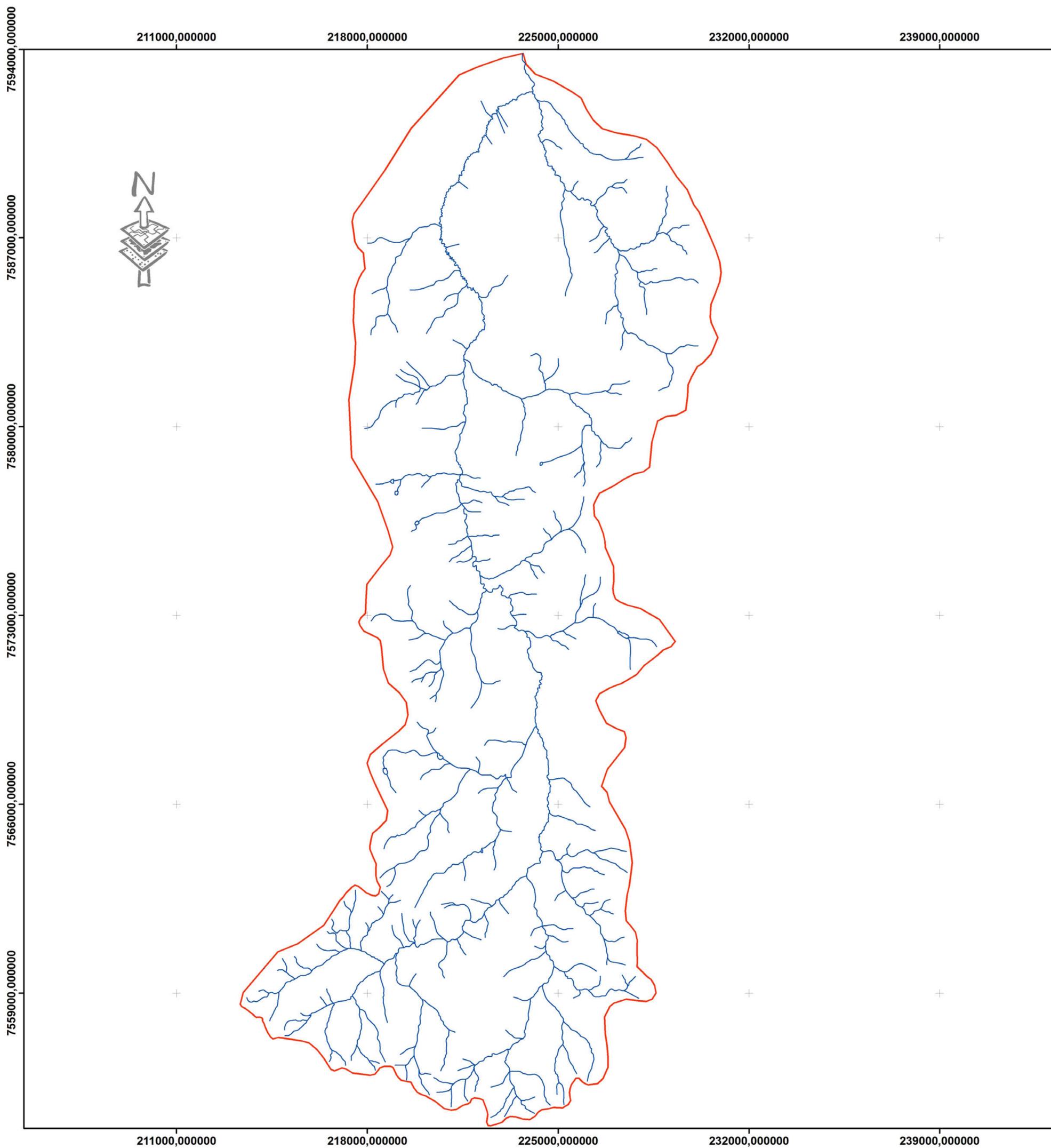


Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa,
 Reinaldo Lorandi (orientador)

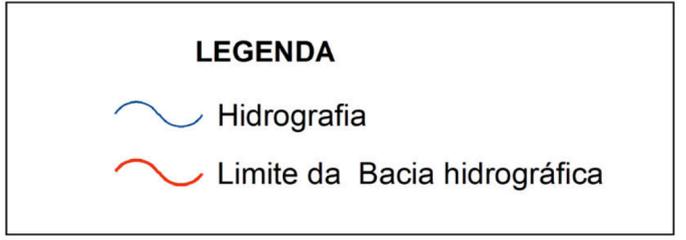
Figura: 18
**Localização da Bacia Hidrográfica do
 Ribeirão do Pântano**



211000,000000 218000,000000 225000,000000 232000,000000 239000,000000

7594000,000000
7587000,000000
7580000,000000
7573000,000000
7566000,000000
7559000,000000

7594000,000000
7587000,000000
7580000,000000
7573000,000000
7566000,000000
7559000,000000



Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura:19
**Mapa da Bacia Hidrográfica do
 Ribeirão do Pântano**

211000,000000 218000,000000 225000,000000 232000,000000 239000,000000

De acordo com o sistema de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, isto é, clima de inverno seco e verão chuvoso, com a temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, e a do mês mais quente superior a 22°C. O índice pluviométrico neste tipo climático varia entre 1100 e 1700 mm anuais. As variações altimétricas situam-se entre 540m e 1040m, com um desnível de 500m, Anexo 1 com variadas formas de relevos, planícies, planícies de inundação, colinas (Figura 20), morrotes, morros e áreas cênicas como a Cachoeira do Pântano.



Figura 20- Vista superior do Montes Claros com vista para o córrego da fazenda Montes Claros afluente do Ribeirão do Pântano e aos fundos as colinas e a Serra do Monte Sinai.

Fonte: acervo da autora

4.1 O Município de Analândia

Boa parte do desenvolvimento econômico local de Analândia se sustenta em ações relacionadas com meio natural do município, e dessa forma, o desenvolvimento de atividades turísticas passa necessariamente pela exploração de seus recursos paisagísticos. Analândia é considerada como uma estância climática, sendo que tal status garante a este município uma verba maior por parte do Estado para a promoção do turismo regional (IBGE, 2009). Em meados de 1970, o município incorporou e, por conseguinte, assumiu uma importante posição em relação

à atividade econômica. O desenvolvimento da atividade turística controlada, como fonte de renda, busca de forma sustentável o crescimento econômico do município.

Analândia encontra-se inserida entre a Depressão Periférica Paulista e as Cuestas Arenito-Basálticas, plena de inúmeras belezas naturais como as Cuestas que recebem os nomes locais de Serra do Cuscuzeiro ou morros testemunhos (Morros do Cuscuzeiro e do Camelo) localizadas próximas a área urbana do município. Aos finais de semana ocorre um aumento da população na cidade, devido à prática de esportes radicais relacionadas com o ecoturismo. Um dos principais pontos negativos gerado pelo turismo, que em alguns casos se sucede de maneira inadequada e irregular, é a degradação da mata nativa, que em longo prazo pode levar ao aumento da erosão e a destruição de ecossistemas locais, prejudicando desta maneira os animais selvagens da região.

Atualmente Analândia é polarizada economicamente pelo município de São Carlos, mas busca alternativas para conquistar um crescimento auto-suficiente e sustentável. Segundo um estudo de Leite (2002), as alternativas encontradas por Analândia estão relacionadas com o uso do solo, incluindo pastagem, monocultura da cana de açúcar, citricultura e silvicultura (Pinus SP e Eucalyptus SP).

4.2 O Município de Descalvado

Descalvado, segundo Neves 2005, teve o seu apogeu no fim do século XIX, quando houve o predomínio do café na região, destacando Descalvado neste período como um dos maiores produtores do estado. Em 1920, a indústria têxtil passou a ser a atividade econômica mais importante, mas deu lugar, na década de 50, à avicultura sendo consagrada até hoje. Descalvado é considerada como uma das maiores cidades produtoras de frango de corte do estado de São Paulo. A suinocultura está presente em pequenas propriedades, mas não expressa grande representatividade econômica. Outras culturas de destaque no município são: a cana de açúcar, o café e a laranja.

4.3 O Município de São Carlos

Toda cidade possui seus aspectos histórico-sociais que ajudam a ter uma maior compreensão da sociedade. Segundo Ferreira (2007), São Carlos quando era somente uma vila, tinha como base econômica a agricultura de subsistência como a criação de suínos e bovinos bem como o cultivo do milho e da mandioca. Com o advento do café, a vila de São Carlos desenvolveu seu núcleo urbano e foi elevada a categoria de cidade. A migração no período compreendido entre as décadas de 1940 e 1970 fortaleceu o surgimento das periferias urbanas na cidade.

A partir de 1990 ocorre o aumento do desenvolvimento sócio-econômico da região, há instalação de novas empresas e indústrias foram responsáveis por este desenvolvimento, entre as principais fábricas podemos citar a Volkswagen Motores, Tecumseh, Eletrolux, Faber-Castell, dentre outras. O crescimento da cidade se intensifica com o desenvolvimento de alta tecnologia nos núcleos de pesquisa constituídos nas importantes universidades públicas como a Universidade Federal de São Carlos, Universidade de São Paulo campus São Carlos, Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária – CNPDIA, conhecido por Embrapa Instrumentação Agropecuária, instalado em São Carlos desde 1984 e o Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste – CPPSE – é uma unidade da Embrapa criada em agosto de 1975 pela incorporação da Estação Experimental de São Carlos que funcionava na Fazenda Canchim.

4.4 Crescimento Populacional das três Cidades da Área de Estudo

- **Analândia**

Os dados do IBGE para o crescimento populacional do município de Analândia, entre os anos de 1970 a 2007, estão inseridos na Quadro 4, a qual aborda uma série histórica. Para compreender melhor a evolução da cidade que totaliza uma área de 327 km².

Quadro 4 - População Total do município de Analândia

Ano	População	Tipo de medição
1970	2.612	Censo
1980	2.312	Censo
1991	3.020	Censo
1996	3.446	Contagem
2000	3.582	Censo
2007	4.166	Contagem

Fonte: IBGE- 2009

Como abordado anteriormente, o município de Analândia possui o seu desenvolvimento econômico local em ações relacionadas ao meio natural. As atividades turísticas têm como foco a exploração de seus recursos naturais, acarretando uma carga de população “flutuante” que deve ser levada em consideração em estudos mais aprofundados sobre a demografia projetada, objetivando compreender melhor o crescimento da cidade.

- **Descalvado**

Para o período considerado, de 1970 até 2007, segundo os dados censitários e de contagem da população apresentados na Quadro 5, Descalvado apresentou um acréscimo grande em sua população de 15.510 habitantes, passando a 29.533 habitantes.

Quadro 5-População total do município de Descalvado

Ano	População	Tipo de medição
1970	15.510	Censo
1980	20.333	Censo
1991	25.750	Censo
1996	27.020	Contagem
2000	28.921	Censo
2007	29.533	Contagem

Fonte : IBGE- 2009

- **Município São Carlos**

A cidade de São Carlos é considerada como um importante centro regional, com a economia fundamentada em atividades industriais e na agropecuária, servida por vários sistemas rodoviários e ferroviários.

O crescimento populacional do município de São Carlos (1970 a 2007), segundo dados do IBGE 2009, está representado no Quadro 6, a qual aborda uma série histórica. Para compreender melhor a evolução da cidade que totaliza uma área de 1.141 km².

Quadro 6 - População Total do município de São Carlos

Ano	População	Tipo de medição
1970	85.425	Censo
1980	119.535	Censo
1991	158.221	Censo
1996	175.517	Contagem
2000	192.998	Censo
2007	212.956	Contagem

Fonte: IBGE- 2009

As universidades e os centros da Embrapa instalados na cidade de São Carlos, bem como as escolas de ensino superior e técnicas, constituem a infraestrutura de Ciência, Tecnologia e Ensino, caracterizando um pólo atrativo à população. Devido a este grande pólo atrativo, o município de São Carlos conta com uma população flutuante com cerca de 20.000 estudantes e pesquisadores IBGE (2010).

4.5 Geomorfologia

A bacia hidrográfica em estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, englobada pelas seguintes unidades geomorfológicas: Planalto Ocidental Paulista (Planalto Residual de São Carlos e Patamares Estruturais de Ribeirão Preto) e Depressão Periférica Paulista (Depressão Mogi-Guaçu).

O Planalto Residual de São Carlos corresponde ao reverso da cuesta no interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu, onde predominam formas de relevo denudacionais

e o modelado é composto por colinas de topos convexos e tabulares. Esta unidade morfoescultural apresenta formas de dissecação média com vales entalhados.

A cuesta é uma forma de relevo tabular, onde a escarpa íngreme limita um topo plano, formado por terras de maiores altitudes, que se contrapõem a terras mais baixas e de vertentes suaves. As Figura 21 e Figura 22 documentam a bacia do Pântano em Descalvado, demonstrando os elementos que compõem o padrão de relevo definido pela cuesta basáltica.



Figura 21 – Cuesta dentro da fazenda Leopoldina.
Fonte: acervo da autora

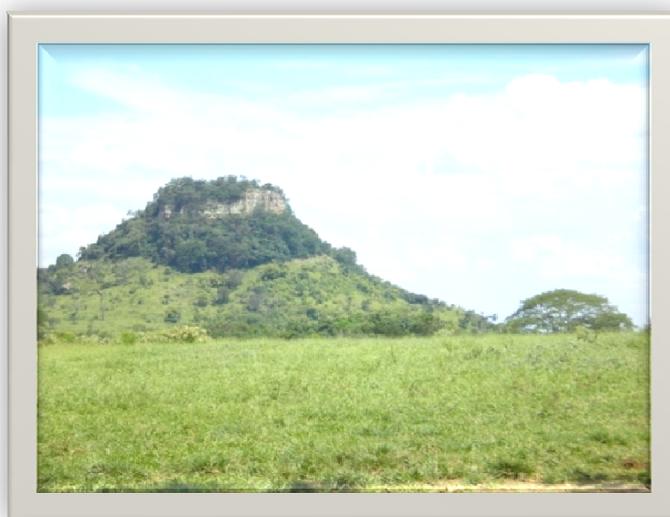


Figura 22- Morro testemunho isolado localizado na BHRP
Fonte: Reinaldo Lorandi

Apesar de Ross e Morroz (1997) considerarem que essas unidades geomorfológicas apresentam baixo potencial erosivo, Torezan (2000) em levantamentos de campo, para bacia hidrográfica vizinha à área de estudo, constatou a ocorrência de acelerado processo erosivo em algumas áreas, inclusive com a presença de voçorocas, possivelmente intensificado pelo manejo inadequado do solo. Em visita de campo pode-se constatar diversas erosões na bacia hidrográfica do Pântano Figura 23 , Figura 24 e Figura 25.



Figura 23- Erosão em área de pasto em um dos afluentes do ribeirão do Pântano.
Fonte: acervo da autora



Figura 24- Erosão e afloramento de basalto em alguns trechos da bacia hidrográfica.
Fonte: acervo da autora



Figura 25- Erosão no pasto (na parte central da figura); vista panorâmica do córrego da fazenda Montes Claros e fragmentos de vegetação.

Fonte: acervo da autora

4.6 Geologia

No sítio da área de estudo pode-se distinguir sete unidades litológicas (Figura 26): Pirambóia, Botucatu, Serra Geral, Itaqueri, Santa Rita do Passa Quatro, Pirassununga e Depósitos Recentes do Quaternário São Paulo. O mapa que contém as formações geológicas da superfície da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano foi elaborado por Moraes e Lorandi (2009), em escala de 1:50000, compreendem parte das folhas Descalvado.

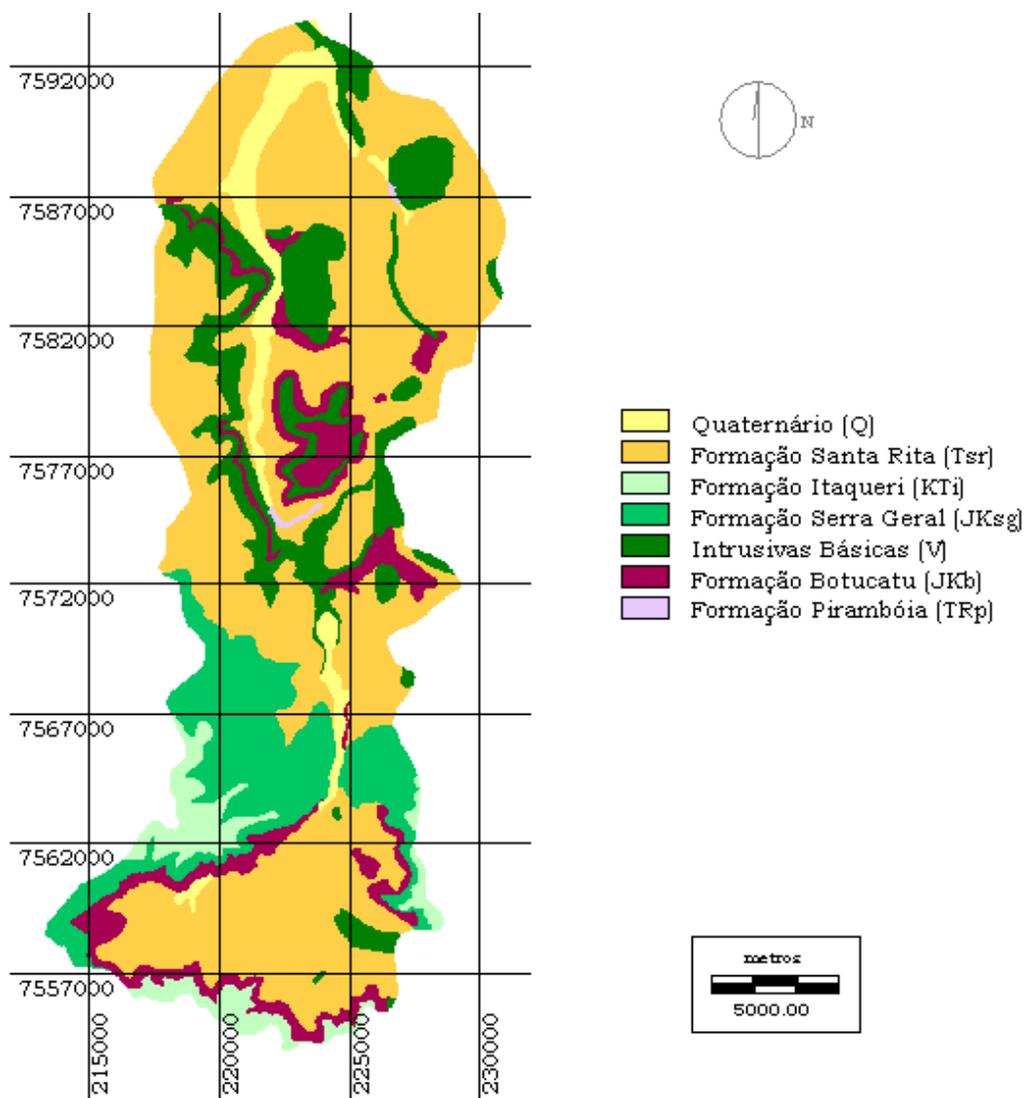


Figura 26- Mapa das formações geológicas de superfície da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano.

Fonte: Moraes e Lorandi (2009)

A seguir será descrito os tipos de litologias encontradas na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano.

4.6.1 Quaternário

O Quaternário é composto de planícies aluvionares bem desenvolvidas (CANÇADO, 2003). Estes depósitos, de várzeas e terraços, são constituídos de areias, argilas e cascalhos, geralmente distribuídos ao longo de rios.

Segundo Bartorelli e Haralyi (1998), os depósitos quaternários, por serem originários da dinâmica presente e pré-atual de acumulação sedimentar,

encontram-se associados aos atuais agentes de sedimentação, constituídos por mares, rios e lagoas, podendo transpor as suas áreas de atuação por influência de outros fatores, sobretudo de natureza tectônica.

Na região Sudeste, existem aluviões constituídos por areia, argila, siltes e cascalho na planície de inundação e terraços fluviais, pouco representativos em escala regional, como as areias conglomeráticas e siltosas da Formação Rio Claro, além de depósitos marinhos, eólicos e deltaicos do litoral do Rio de Janeiro. A importância geotécnica dos depósitos sedimentares quaternários, caracterizados por baixo grau de consolidação, não é desprezível, levando-se em conta que nas obras de barragens são necessárias a sua remoção ou o tratamento para impermeabilização. Os depósitos quaternários constituem a principal fonte de areia para construção, e na falta de área para a instalação de pedreiras, o agregado para concreto pode ser obtido a partir dos cascalhos aluvionares, os quais são também muito utilizados em revestimentos e pavimentações de obras viárias. As coberturas pedológicas, freqüentemente denominadas coberturas coluvionares, constituem áreas de empréstimo muito utilizadas para aterros compactados, Bartorelli e Haralyi (1998).

4.6.2 Formação Santa Rita do Passa Quatro

Esta formação, qualificada por Massoli (1981), é composta por um capeamento terciário com poucos metros de espessura, mas de grande distribuição horizontal. Ela é constituída de areia sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, exibindo, na base, uma linha de seixos ou cascalheira formada por seixos predominantemente de quartzo e fragmentos de limonita. Os sedimentos apresentam granulações correspondentes à fração de areia fina (diâmetro médio = 0,1 mm). Os grãos, essencialmente de quartzo, são pobremente selecionados. A sua distribuição granulométrica constitui-se de 74 a 94% de areia, com matriz argilosa variando entre 6 e 19%. Ocorre em depósitos de espigões, ocupando altitudes que vão de 700 a 940m.

4.6.3 Formação Itaqueri

Conforme Almeida e Barbosa (1980), citado por Cançado (2003), a Formação Itaqueri abrange marcas irregulares no reverso da cuesta basáltica, isolada de outras coberturas pós-trapianas, representando as suas partes mais elevadas testemunhas da antiga extensão do Planalto Ocidental. A sua espessura máxima observada é de 125 metros e é litologicamente constituída por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. Ocorre a predominância dos arenitos, sendo que os demais depósitos são de extensão limitada, geralmente na forma lenticular alongada.

A Formação Itaqueri constitui-se de arenitos conglomeráticos e conglomerados com seixos de composição variada, com intercalações de siltitos. Os arenitos podem ser argilosos e apresentar intensa silicificação. Eles representam acumulações em ambiente de elevada energia, com mudança brusca de velocidade das águas, provavelmente de leques aluviais em clima de acentuada aridez, cuja posição estratigráfica e de idade não estão satisfatoriamente esclarecidas. As estruturas sedimentares não são muito distintas, podendo-se, porém, caracterizar a estratificação plano-paralela ou cruzada nos arenitos, disposição caótica dos clastos nos conglomerados mais grossos e estratificação de corrente nos mais finos (MIRANDA, 2005).

Segundo Montanheiro et. al. (2002), a Formação Itaqueri ostenta depósitos volumosos de argila e arenitos ricos em opala e calcedônia, constituindo um possível metalotecto litoestratigráfico concentrador de depósito pozolânico, distribuindo-se na porção central do Estado de São Paulo, capeando as serras de São Pedro, Itaqueri e o platô de São Carlos, preservados em grande parte por rochas básicas da Formação Serra Geral e arenitos mesozóicos silicificados da Formação Botucatu, os quais foram reunidos na Supersequência Gondwânica III.

A Formação Itaqueri, de idade paleocênica/eocênica, recobre o topo de escarpas que atingem altitudes aproximadamente de 1000 m e está assentada sobre uma superfície regular, desenvolvida nos basaltos da Formação Serra Geral ou diretamente sobre a Formação Botucatu, quando da ausência dos basaltos da Formação Serra Geral, após a erosão pós-basáltica que promoveu o aplainamento

de todas as irregularidades deixadas pelas atividades tectônicas precedentes, (RICCOMINI 1995 e 1997), citados por (MONTANHEIRO et. al. 2002).

A sua constituição mais constante é a de depósitos rudáceos (conglomerados com clastos derivados predominantemente de rochas básicas referíveis ao magmatismo Serra Geral), arenitos e lamitos interpretados como leques aluviais, sedimentados sob condições de média a alta energia, (MONTANHEIRO et. al. 2002).

Abreu (2007), elaborou o mapeamento geotécnico na cidade de Analândia e constatou que as litologias presentes predominam conglomerados de matrizes argilosas ou argilo-arenosas, com seixos milimétricos a decimétricos de quartzo, quartzito, rochas básicas, siltitos, argilitos, arenitos, arenitos com cimentação limonítica e lateritas. Nos afloramentos, verificamos a alternância de camadas com proporções variadas de matrizes e seixos (variando, portanto, de argilitos arenosos a conglomerados) e com seixos de tamanhos diversos.

4.6.4 Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas

A Formação Serra Geral é constituída de rochas originárias dos derrames de lavas basálticas e pelos diabásios, intrusivos tanto na forma de soleiras (sills) como de diques nas unidades sedimentares da Bacia do Paraná. Além disso, compõem-se de magmatitos básicos, dentre os quais incluem derrames de lavas, soleiras, diques de diabásio e corpos de arenitos intertrapeanos, (MIRANDA, 2005).

Associada à ruptura do oeste do Gondwana, ela é composta essencialmente por basaltos, mas também por riolacitos e riólitos, sobrepostos. Composicionalmente associados às rochas efusivas são observados diques e soleiras (sills), intrusivas nos sedimentos. As soleiras mais espessas podem ser encontradas em sedimentos do Grupo Itararé e da Formação Irati, embora sejam encontradas em sedimentos do Botucatu e reconhecidos na própria Formação Serra Geral (MIRANDA, 2005).

Os derrames são constituídos por rochas de coloração cinza escura a negra, em geral afaníticas. Naqueles mais espessos, a zona central é maciça, microcristalina e se apresenta fraturada por juntas de contração subverticais (disjunção colunar). Na parte superior dos derrames aparecem vesículas e

amígdalas, parcial ou totalmente preenchidas por calcedônia, quartzo, calcita, zeólitas e nontronita, além de grandes geodos que podem ocorrer na sua parte mais profunda. A porção basal dos derrames também pode apresentar tais características, porém com espessura e abundância sensivelmente mais reduzidas (MIRANDA, 2005).

Segundo Abreu (2007), no município de Analândia é possível delimitar ao menos três tipos de ocorrências de rochas básicas associadas a este evento magmático: derrames propriamente ditos, intrusivas colocadas como soleiras, que acompanham à grosso modo as camadas sedimentares da região, e intrusões de menor continuidade, em posição claramente discordante em relação às demais unidades. Os derrames de basalto puderam ser mapeados apenas nas proximidades dos morros, do Camelo e do Cuscuzeiro, na serra homônima. Trata-se de rocha magmática afanítica, de cor cinza escura a preta. Na parte onde o contato com a Formação Botucatu está visível, verificou-se que ele se faz por uma zona alterada para solo argiloso, marrom, plástico, com espessura de 1 metro e sub-horizontal.

Este aspecto deve ser observado em estudos de estabilidade de taludes, pois esses contatos representam pontos preferenciais para instabilização do maciço. As soleiras de diabásio afloram normalmente na base da escarpa da Serra do Cuscuzeiro. A sua área de exposição à superfície não é grande, pois se encontram normalmente recobertos por sedimentos mais recentes, do tipo tálus ou colúvio, atribuídos à Formação Santa Rita do Passa Quatro. Porém, eles afloram nas bases das cachoeiras formadas pelos rios que nascem no topo da serra e vencem a escarpa, seguindo em direção ao Ribeirão do Feijão, ao rio Corumbataí ou ao Córrego do Pântano. Nestes afloramentos, as rochas se encontram intensamente fraturadas, por vezes apresentando claramente disjunções colunares, Abreu (2007).

4.6.5 Formação Botucatu

A Formação Botucatu composta por arenitos eólicos, avermelhados e esbranquiçados, finos a médios; e também muito finos, regularmente a bem classificados, friáveis a bem silicificados, com grãos arredondados e foscas,

apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados, Pejon (1987) e Cançado (2003).

Os materiais da Formação Botucatu, bem como os da Formação Pirambóia, são derivados de áreas de relevo pouco acentuado, advindos de rochas cristalinas e sedimentares preexistentes, depositados em bacia estável, com transporte relativamente prolongado e fortemente retrabalhados por abrasão seletiva em clima semi-árido e árido de ambiente desértico, eventual e temporariamente cortado por rios (MIRANDA, 2005).

As estruturas marcantes nesta unidade são estratificações cruzadas de médio e grande porte, atingindo até 15 m de altura, representando paleodunas de um ambiente essencialmente desértico, constantemente retrabalhadas pela sua instabilidade. A maior parte da Formação Botucatu foi constituída pelo acúmulo de dunas crescentes simples e compostas e de dunas lineares complexas, classificadas em relação à morfodinâmica como acamamento oblíquo, consequência de variações periódicas da direção do vento. A ausência de água, umidade, superfície cimentada ou qualquer outra feição relacionada às condições de interduna úmida implica numa superfície potenciométrica abaixo da superfície e reforça a condição climática severamente árida (MIRANDA, 2005).

Esta formação é limitada na base por uma inconformidade regional que se estende por toda a bacia, gerando uma vasta superfície de deflação eólica estabelecida com o clímax da aridez do Gondwana ocidental (MILANI, 1997), e é sobreposto por rochas vulcânicas básicas e ácidas da Formação Serra Geral.

Por sua alta porosidade, permeabilidade, homogeneidade, continuidade e dimensões, as formações Pirambóia e Botucatu constituem um dos maiores aquíferos do mundo, o Aquífero Guarani.

4.6.6 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia constitui-se de arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados e róseos, médios a muito finos, ocasionalmente grosseiros, regularmente classificados como siltico-argilosos, quartzosos, com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Mas raramente, observam-se

ainda arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo e também de argila, com matriz areno-argilosa. Na seção inferior os arenitos se tornam finos, predominando faces bastante argilosas. Apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada do tipo planar, menos comumente acanalada, de pequeno e médio porte, Cançado (2003).

Na Formação Pirambóia ocorrem intercalações de camadas com espessura de até 3 m, de arenitos médios e finos com seleção moderada, mas com estratificação plano-paralela, finas camadas de argilitos e siltitos, além de raras lentes de arenitos conglomeráticos. Segundo consta na literatura, o contato inferior com a Formação Corumbataí é tido como discordante/erosivo e também é admitido como de passagem transicional.

O contato superior com a Formação Botucatu é dado por uma superfície de brusca mudança textural, de estrutura e cor, definido por uma superfície regional como uma notável inconformidade havendo um hiato deposicional de cerca de 90 m entre as duas unidades, Milani (1997).

Segundo Abreu (2007), em Analândia as rochas da Formação Pirambóia se caracterizam como camadas de arenitos finos a médios, intercaladas a camadas de conglomerados arenosos ou arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo de até 5 centímetros, arredondados a subarredondados, ou intercaladas a camadas de argila arenosa. As camadas têm espessuras que variam de 2 centímetros a 2 metros e apresentam estratificação, que pode ser plano-paralela ou cruzada tabular de pequeno ou médio porte. Os afloramentos apresentam coloração esbranquiçada, amarelo, laranja ou rosa claro.

4.7 Pedologia

No ambiente da área de estudo pode-se distinguir sete (7) unidades de mapeamento de solos, atualizadas com base em (BRASIL-EMBRAPA (1999): Areias Quartzosas (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO), Latossolo Vermelho-Amarelo (LATOSSOLO AMARELO), Latossolo Vermelho-Escuro (LATOSSOLO ESCURO), Podzólico Vermelho-Amarelo (ARGISSOLO), Solos Litólicos (NEOSSOLOS), Terra Roxa Estruturada (NITOSSOLO VERMELHO) e Solos Hidromórficos (GLEISSOLOS), Figura 27.

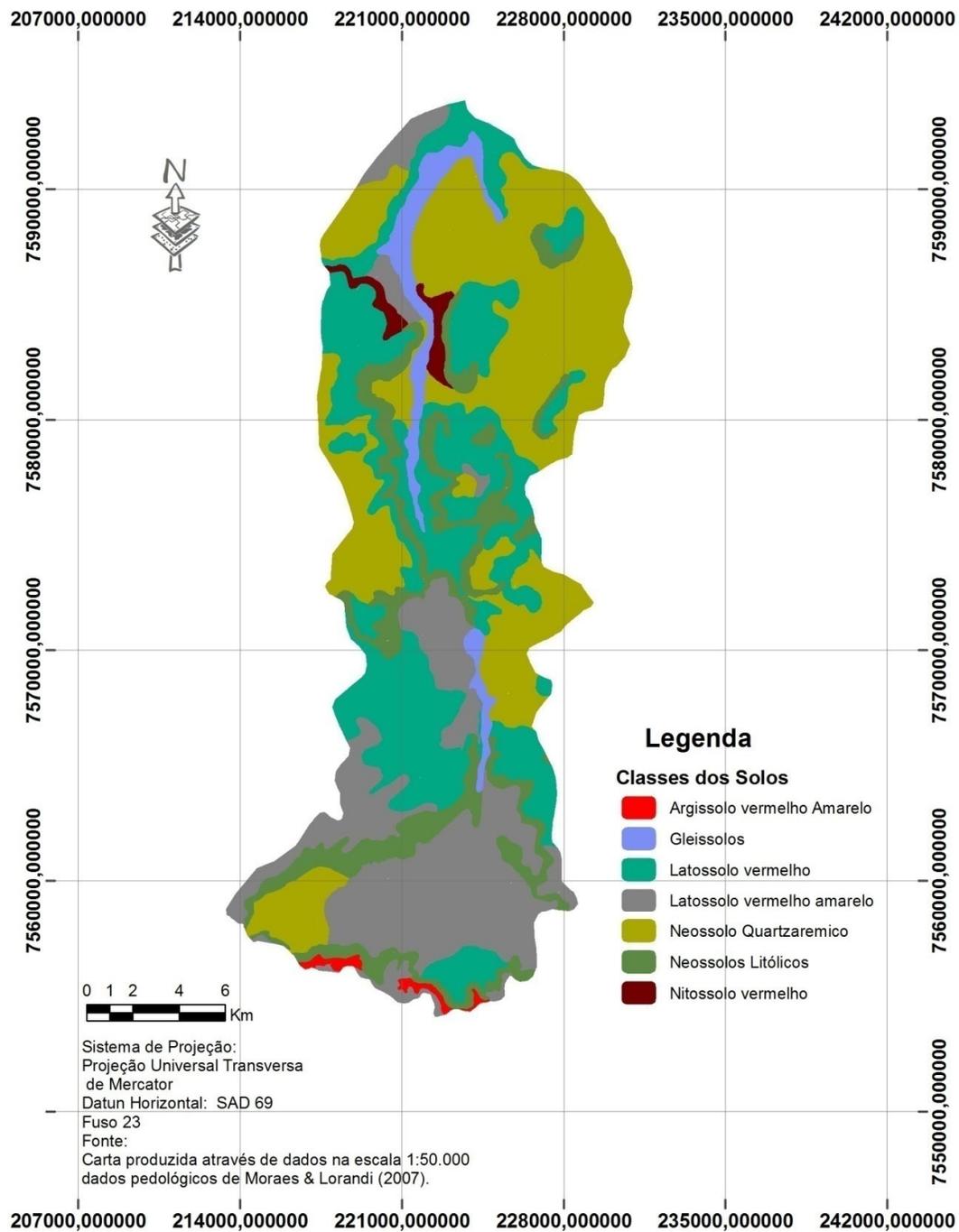


Figura: 27

Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pântano

Figura 27-Mapa de solos da Bacia do Ribeirão do Pântano (Moraes e Lorandi (2009)).

4.7.1 Latossolo Vermelho-Amarelo

Os Latossolos Vermelho-Amarelo estão distribuídos geograficamente no Brasil. Dentre os latossolos que apresentam coloração amarelada, causada pelo amplo predomínio de goethita em relação à hematita com teores de Fe_2O_3 entre 7 e 11%, quando de textura argilosa ou muito argilosa, ou com relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3,14$ quando a textura é média. São solos muito variáveis quanto à fertilidade natural, Castro(1998) ; Ker (1998).

4.7.2 Latossolo Vermelho-Escuro (LATOSSOLO ESCURO)

Os Latossolos Vermelho-Escuros apresentam quanto à textura e coloração alguma semelhança em relação aos Latossolos Roxos, tornando difícil a distinção visual entre os dois, porém se diferem no tocante aos menores teores de Fe_2O_3 causador de menor atração pelo magneto (CASTRO,1998).

Estes solos são formados a partir de uma grande diversidade de materiais de origem, os latossolos de coloração avermelhada com teores de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico entre 8 e 18% são denominados Vermelho-Escuros (LE). Apesar do limite mínimo de Fe_2O_3 estabelecido, vários são os solos de cor avermelhada reconhecidos, e com teores menores que 8%, indicando a necessidade de reavaliação do limite inferior de Fe_2O_3 para esta classe de solos, Ker (1998).

4.7.3 Argissolos (Podzólicos Vermelho Amarelos)

Segundo Sartori, (2005), os Argissolos Vermelho-Amarelo correspondentes aos Podzólicos Vermelho-Amarelo apresentam em geral maior relação textural entre os horizontes A ou E, e o horizonte B textural do que os Argissolos Vermelhos (textura mais argilosa no horizonte A), sendo por isso mais suscetíveis à erosão do que estes, em igualdade de condições de relevo, de cobertura vegetal e de manejo.

A erodibilidade é, em geral, exacerbada nos solos que apresentam mudança textural abrupta (TOREZAN, 2005). Quando há mudança textural abrupta nestes solos, fica caracterizado entre a base do horizonte E e o topo do horizonte Bt

uma zona de má aeração durante o período chuvoso, devido a baixa condutividade hidráulica no topo do horizonte Bt, promovendo a presença de hidromorfia temporária, situada nos limites dos horizontes E e Bt, alto escoamento superficial e alta erodibilidade, Sartori, (2005).

4.7.4 Neossolos Quartzarênicos

Estes solos eram solos anteriormente chamados de Areias Quartzosas. Ao contrário dos Neossolos Litólicos, estes solos são muito profundos, dominados completamente pela sua fração de areia constituída pelo mineral quartzo, que é um mineral extremamente resistente a climatização química e desprovido de nutrientes. Os poucos nutrientes que existem nestes solos estão concentrados na matéria orgânica. A cor avermelhada destes solos é dada pela presença de hematita em sua composição. Estes solos são muito homogêneos, apresentando diferenciação única dos seus horizontes devido à presença de matéria orgânica nos primeiros 10 ou 15 cm. O horizonte A é seguido diretamente pelo horizonte C, já que o alto teor de areia não permite formação de horizonte B (EMBRAPA, 1999).

Estes solos apresentam uma sequência de horizonte AC, sem caráter litóide dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura de areia ou areia franca nos horizontes de até, no mínimo, uma profundidade de 150 cm a partir da superfície ou até a presença de caráter litóide; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente ausência de minerais primários alteráveis, apresentando atividade coloidal muito baixa, além de baixa capacidade de retenção de nutrientes e de água (EMBRAPA, 1999).

Segundo Sartori (2005), a textura areno quartzosa, tanto no horizonte A como no C, profundos e com alta permeabilidade, baixa compressibilidade e expansividade nula nos horizontes A e C. O lençol freático encontra-se em grandes profundidades, abaixo do horizonte C. Possuem variáveis suscetibilidades à erosão, em função da declividade, sendo baixa em planícies e alta em colinas e morrotes. Pequenas concentrações de águas pluviais, e/ ou servidas, podem provocar grandes ravinas, e quando interceptado o lençol freático, boçorocas.

4.7.5 Neossolos Litólicos

Segundo Sartori (2005), ocorrem em relevo forte ondulado ou montanhoso e são muito suscetíveis à erosão. O contato lítico próximo à superfície proporciona a estes solos um grande potencial para o escoamento superficial.

Solos com horizonte A ou hístico, assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (casalhos, calhaus e matacoes), e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo, admitem um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA 1999).

Os Neossolos Litólicos são por definição solos que apresentam reduzida profundidade efetiva, limitando o seu uso para agricultura, devido ao reduzido volume que terá disponível para o ancoramento das plantas e para a retenção da umidade. O seu uso requer, portanto, atenção especial no que diz respeito aos tratos conservacionistas. São solos bem providos de nutrientes, especialmente aqueles que derivam dos sedimentos do Grupo Passa Dois e de rochas básicas (basalto e diabásio), (TOREZAN, 2005).

4.7.6 Gleissolos

Segundo Embrapa (1999), são solos constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou de horizonte H (hístico) de espessura inferior a 40 cm, satisfazendo ainda os seguintes requisitos: ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei; ausência de horizonte vértico, plíntico, ou B textural com mudança textural abrupta, coincidente com o horizonte glei; ausência de horizonte plíntico dentro de 200 cm a partir da superfície do solo.

Os solos não apresentam textura exclusivamente em areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo, ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro

tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. O horizonte plíntico, se presente, deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície.

Eles se caracterizam pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica. O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda precipitação de compostos ferrosos.

Estes solos são mal ou muito mal drenados, em condições naturais, que apresentam seqüência de horizontes A-Cg, A-Big-Cg, A-Btg-Cg, A-E-Btg-Cg, A-Eg-Bt-Cg, Ag-Cg, H-Cg, tendo o horizonte superficial cores desde cinzentas até pretas, espessura normalmente entre 10 e 50 cm e teores, médios a altos, de carbono orgânico. O horizonte glei, que pode ser um horizonte C, B, E ou A, possui cores predominantemente mais azuis que 10Y, de cromas bastante baixos, próximos do neutro.

São solos que ocasionalmente podem ter textura arenosa (areia ou areia franca) somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei de textura franca arenosa ou mais fina. Afora os horizontes A, H ou E que estejam presentes no horizonte B, a estrutura é em blocos ou prismática composta ou não de blocos angulares e subangulares.

No caso de horizonte C, a estrutura é em geral maciça, podendo apresentar fendas e aspecto semelhante ao da estrutura prismática quando seco ou após exposta a parede da trincheira por alguns dias. Podem apresentar horizonte sulfúrico, cálcico, propriedade solódica, sódica, caráter sálico, ou plintita, em quantidade ou posição não diagnóstica, para enquadramento na classe dos Plintossolos.

Os Gleissolos são formados em materiais originários, estratificados ou não, e sujeitos ao constante ou periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações. Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas

proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (surgentes). São solos que ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.

Segundo Willey (1970) citado por Torezan (2005), os Gleissolos apresentam sérias limitações impostas pela presença de lençol freático a pouca profundidade. A aeração inadequada aumenta a resistência da difusão dos gases do solo para a atmosfera e vice-versa, consumindo rapidamente o oxigênio do solo pelos microorganismos e plantas, inibindo o crescimento das raízes; ocorre, então, uma diminuição da absorção de água apesar do ambiente encharcado, e redução da fotossíntese. Além disso, há importante perda de N mineralizado, e o ambiente redutor facilita a formação de compostos bivalentes de Fe e Mn, os quais são tóxicos. A utilização de tais solos com plantas mesófilas requer que sejam drenados a fim de melhorar as condições de aeração na zona da rizosfera.

A maioria dos Gleissolos geralmente são distróficos e bastante ácidos, requerendo a aplicação de corretivos e fertilizantes para a obtenção de colheitas satisfatórias. Devido aos teores relativamente elevados de matéria orgânica, a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez é elevada. Por estarem situados em várzeas, os Gleissolos oferecem limitações quanto ao risco de inundações e são encontrados em áreas onde há o acúmulo de ar frio (nas regiões frias), sendo por isso mais sujeitos aos efeitos de geada (TOREZAN, 2005).

Segundo Sartori (2005), os solos hidromórficos são constituídos de materiais minerais, com horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E, não apresentando mudança textural abrupta, mas sim argila de alta atividade. Estes solos ocorrem em superfícies aplainadas, em geral rebaixadas, em planícies aluviais e fundos de vales, locais favoráveis à saturação em água. São solos mal drenados.

4.7.7 Nitossolos (Nitossolo Vermelho)

Segundo Embrapa (1999), são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B nítico com argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B. Apresentam sempre estrutura em blocos ou prismática bem desenvolvida no horizonte B, mas com inexpressivo gradiente textural. Esta classe exclui solos com incremento no teor de argila requerido para horizonte B textural, sendo a diferenciação de horizontes menos acentuada que a dos Argissolos, com transição do A para o B, clara ou gradual, e entre sub-horizontes do B, gradual ou difusa.

São solos profundos, bem drenados, de coloração variando de vermelho a brunada. Em geral, são moderadamente ácidos a ácidos, com saturação por bases baixa a alta, às vezes alumínicos, às vezes alíticos, com composição caulinitico - oxídica e com argila de atividade baixa ou alta, esta última apenas quando conjugada com o caráter alítico. Podem apresentar horizonte A de qualquer tipo, inclusive A húmico, (Embrapa, 1999).

4.8 Uso da terra e Vegetação

As principais formações vegetais identificadas por Rizzini (1979) foram: cerrado e cerradão, mata mesófila e mata ciliar, sendo que a Mata Mesófila Estacional Semidecídua aparece disseminada na forma de manchas em áreas de cerrado, estando a sua distribuição associada às condições edáficas. Segundo Oliveira(1995), os remanescentes destas formações vegetais encontram-se dispersos em manchas relativamente isoladas no meio da matriz de ocupação agrícola. Em visita de campo pode-se presenciar tal descrição, Figura 28 e Figura 29



Figura 28- Cultivo de Cana de Açúcar, pasto e vegetação na cerra do monte Sinai.
Fonte: acervo da autora



Figura 29- Fragmento de vegetação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano.
Fonte: acervo da autora

Torezan (2000), ao analisar as áreas ocupadas pelos remanescentes de cerrado, cerradão e mata (mata mesófila e mata ciliar), na bacia hidrográfica adjacente a área de estudo (Bacia do Rio Bonito), verificou que eles ocupam cerca de 22% (49Km²) da mesma, e que apesar do valor expressivo. Estas áreas

apresentam-se de forma bastante fragmentada, ocupando áreas de declividade acentuada, como nas encostas da Serra Grande e circundando alguns corpos d'água.

As áreas de fragmentos de vegetação nativa abrigam espécies animais raras na região, com registros de ocorrência do lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), do urubu-rei (*Sarcoramphus papa*), do veado-mateiro (*Mazama americana*) e do sauá (*Callicebus peronatus*), (OLIVEIRA 1995), atestando a importância e a urgência das suas preservações.

A bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano está inserida em uma área rural na qual foram considerados e confeccionados os usos do solo (Figura 30) por Moraes e Lorandi (2007), no período de 2006, conforme a sua homogeneidade: Mata Ciliar, Mata Mesófila, Cerrado, Cana-de-açúcar, Laranja, Eucalipto, Pastagem, Solo exposto, Represa, Pesque-pague, Usos diversos.

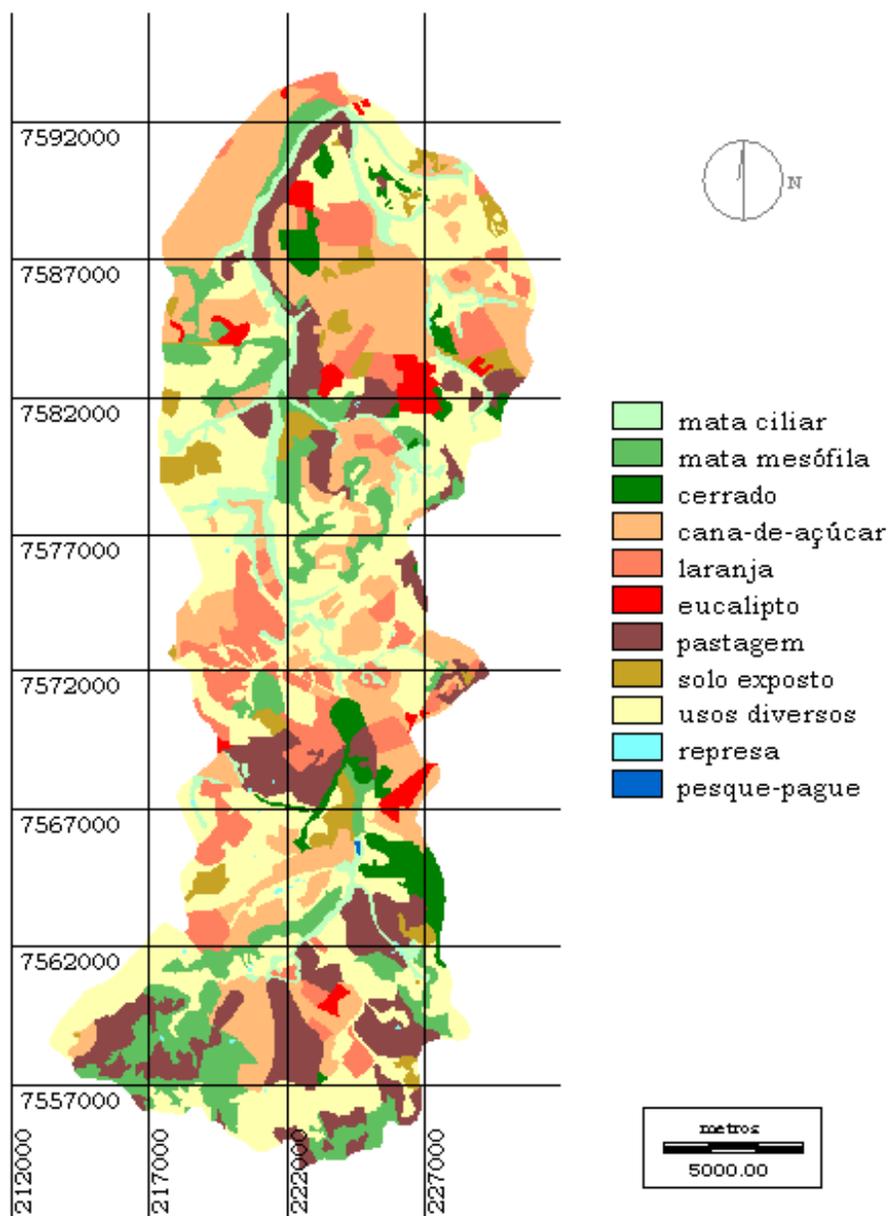


Figura 30- Mapa do uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano do ano 2006

Fonte: Moraes e Lorandi (2007) no prelo

5 Metodologia

A metodologia empregada para obter o mapa de vulnerabilidade à erosão da bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano foi a metodologia proposta por Crepani et al (2001) na qual empregou o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da Amazônia. Essa metodologia, segundo os autores, foi desenvolvida com base no

conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e na utilização de imagens do Landsat-TM, as quais permitem uma visão sinóptica e holística da paisagem.

A metodologia adotada visa elaborar cartas de vulnerabilidade a erosão, através da delimitação primeiramente das unidades territoriais básicas e utilizando informações cartográficas com auxílio de softwares sobre os atributos do meio físico, “temas”, segundo Crepani et al (2001) como: solo, geologia, geomorfologia, clima, vegetação e uso do solo. O Sistema de Informação Geográfica utilizado foi o SPRING desenvolvido pelo INPE Instituto Nacional de Pesquisa Espacial em Conjunto a EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e o ARC GIS.

Primeiramente é realizada a reinterpretação das informações temáticas disponíveis como mapa geológico e pedológico, uso do solo de 2006 e imagem de satélite Landsat, 2006 do Laboratório de Geociências, da Universidade Federal de São Carlos.

Posteriormente é realizada a delimitação do mapa de Unidades Territoriais Básicas (U.T.B.) através da combinação da imagem de satélite e o mapa de uso do solo, no qual se atribui duas categorias. As categorias são “unidades de paisagem naturais” e os “polígonos de intervenção antropica”. Estes últimos são decorrentes da intervenção humana na paisagem.

Seguindo esta proposta metodológica cada tema recebe uma pontuação de fragilidade variando entre 1 e 3. O modelo é aplicado a cada tema individualmente, geologia, pedologia, geomorfologia, vegetação e climatologia dentro de cada uma das unidades de paisagem natural. Posteriormente, estes valores individuais são somados, e então é obtida a média, resultando em um valor final. Este valor representa a posição desta unidade de paisagem natural dentro da escala de vulnerabilidade à erosão.

Esta atribuição de valores de estabilidade para cada unidade homogênea expressando sua vulnerabilidade a erosão baseia-se no conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977), sendo que, as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0, conforme pode ser verificado no Quadro 7.

Quadro 7- Avaliação da Vulnerabilidade das Unidades de Paisagem Natural.

Unidade	Relação Pedogênese/ Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Pervalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al 2001.

A estabilidade ou vulnerabilidade, resistência ao processo natural à erosão, das unidades de paisagem natural é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima. Abaixo estão descritos os critérios para atribuir os valores de vulnerabilidade a estes temas dentro de cada unidade de paisagem natural. As informações que se seguem foram transcritas dos documentos produzidos pelos pesquisadores do INPE, como Crepani et al. (2001) e SPÖRL (2001).

A confecção da carta com a vulnerabilidade para o tema geomorfologia é obtida através da sobreposição das cartas de dimensão interfluvial média, amplitude altimétrica e declividade do local.

Para obtenção da carta, dimensão interfluvial média (G) é necessário subdividir a bacia em sub-bacias a partir do modelo digital do terreno (MDT). Após as divisões das bacias é sobreposto à carta topográfica com a carta de sub-bacias para então obter a amplitude dos interflúvios que é a distância entre canais de drenagem sobre uma mesma curva de nível. Com a coleta dos dados é realizado a média dos valores para cada sub-bacia. Então, partindo-se desses valores é classificado a vulnerabilidade correspondente a bacia de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8- Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo

Amplitude do Interflúvio (m)	Vulnera./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulnerab./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Fonte: Crepani et al 2001.

Para a carta de amplitude altimétrica (A) é necessário extrair do MDT as altitudes máximas e mínimas no interior de cada UTB. Após obtenção dos valores de amplitude máxima e mínima no interior de cada UTB é associado o seu respectivo valor do Quadro 9 que condiz a vulnerabilidade da amplitude altimétrica do terreno.

Quadro 9- Valores de vulnerabilidade para a amplitude altimétrica

Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77	1,6	132 - 141,5	2,3	>200	3,0

Fonte: Crepani et al 2001.

A carta de declividade (D) também é gerada do MDT, por meio de comando específico no software Arc Gis e cruzada com a carta de UTB. Após,

atribuído às respectivas porcentagens da declividade, é classificado o grau de vulnerabilidade da carta, o qual é associado o Quadro 10.

Quadro 10-Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas

Declividade		Vuln./	Declividade		Vuln./	Declividade		Vuln./
Graus	Porcent.	Estab.	Graus	Porcent.	Estab.	Graus	Porcent.	Estab.
<2	<3,5	1,0	9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3	13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Fonte: Crepani et al 2001.

Com a classificação da vulnerabilidade, os modelos numéricos de dimensão interfluvial média, amplitude altimétrica e declividade, são substituídos na Equação V proposta por Crepani et al(2001). A Equação V fornecerá uma média entre as vulnerabilidades, com as quais será obtida a carta, com valores numéricos de vulnerabilidade, para o tema geomorfologia (R).

$$R = (G+A+D) / 3 \quad \text{Equação V}$$

R = Vulnerabilidade par o tema Geomorfologia

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de dissecação (Dimensão interfluvial)

A = Vulnerabilidade atribuída á Amplitude Altimétrica

D = Vulnerabilidade atribuída á Declividade

A carta de intensidade pluviométrica, que representa o tema clima, foi confeccionada por meio da divisão do valor da pluviosidade média anual (mm) pela duração do período de chuva (meses) do local. Depois de atribuída à média das pluviosidades das cidades de Analândia, Descalvado e São Carlos foi determinada a vulnerabilidade do clima conforme o Quadro 11. Através destas informações referentes à pluviosidade anual (Figura 31) e à duração do período chuvoso (Figura

32), pode-se fazer uma quantificação empírica do grau de risco a qual está submetida uma unidade de paisagem. O valor da intensidade pluviométrica (IP) para uma determinada área pode ser obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (PM, em mm) pela duração do período chuvoso (PC, em meses), apresentada pela Equação VI.

$$IP=PM/PC$$

Equação VI

Desta forma, é possível criar uma escala de erosividade da chuva representando a influência do clima nos processos morfodinâmicos.

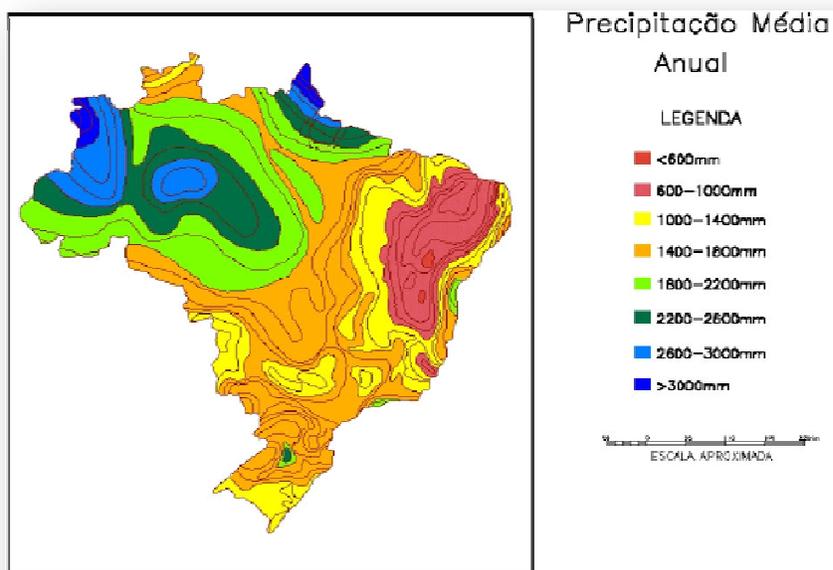


Figura 31- Pluviosidade anual do Brasil
Fonte: Brasil 1993 citado por Crepani et al , 2001.

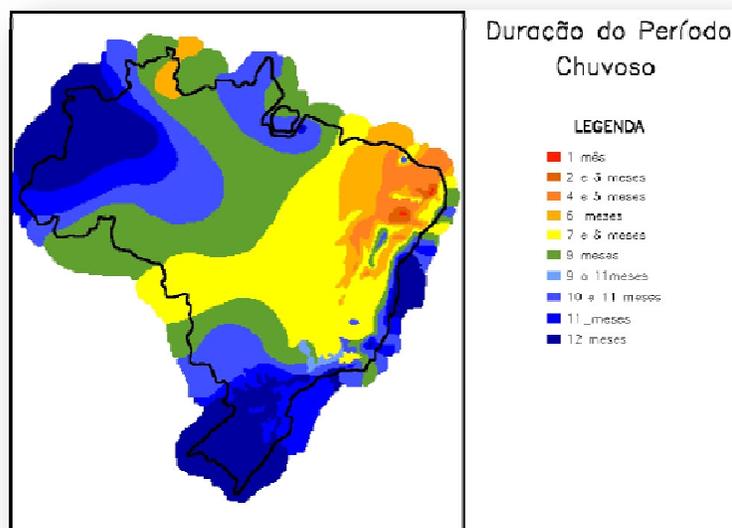


Figura 32- Duração média do período chuvoso do Brasil
Fonte: Crepani, et al 2001.

Quadro 11- Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
<50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Fonte: Crepani et al 2001.

A carta de vulnerabilidade a geologia foi confeccionada através do cruzamento da carta de geologia produzida por Moraes e Lorandi (2009) e a carta de UTB. Após o cruzamento foi atribuído os valores de vulnerabilidade para cada litologia no interior das UTBs conforme Quadro 12.

Quadro 12 -Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns

Tipos de Rochas	Litogias	Grau de vulnerabilidade
Metamórficas	Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, Granito, Dacito	1,1
Ígneas Intrusivas	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,3
Ígneas Intrusivas	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Ígneas	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Ígneas Intrusivas	Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, Quartzo Muscovita, Biotita, Clorita Xisto	1,7
Ígneas e Metamórficas	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, Tremolita, Actinolita Xisto	1,9
Metamórficas	Estaurolita Xisto, Xistos Granatíferos	2,0
Metamórficas	Filito, Metassilito	2,1
Metamórficas	Ardósia, Metargilito	2,2
Metamórficas	Mármores	2,3
Sedimentares	Arenitos Quartzosos ou Ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Sedimentares	Grauvacas, Arcózios	2,6
Sedimentares	Siltítos, Argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentares	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani et al ,2001.

Uma unidade de paisagem é estável quando favorece o processo de pedogênese, ou seja, o ambiente favorece a formação e o desenvolvido do solo. A carta de vulnerabilidade a Pedologia é produzida após o cruzamento da carta de pedologia e de UTB. Os valores são atribuídos a cada litologia individualmente com base no Quadro 13.

Quadro 13- Valores de vulnerabilidade/ estabilidade dos solos (V/E) dos solos. Modificado de Crepani et al(2001) incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solo de Embrapa (1999) baseada em Prado (2001).

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	(V/E)
Latossolos Amarelos	LATOSSOLOS AMARELOS	1,0
Latossolos Vermelho-Amarelos	LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	
Latossolos Vermelho-Escuros	LATOSSOLOS VERMELHOS	
Latossolos Roxos	LATOSSOLOS VERMELHOS	
Latossolos Brunos	LATOSSOLOS BRUNOS	
Latossolos Húmicos	LATOSSOLOS (...) HÚMICOS	
Latossolos Húmicos Brunos	LATOSSOLOS BRUNO (...) HÚMICOS	
Podzólicos Amarelos	ARGISSOLOS	2,0
Podzólicos Vermelho-Amarelos	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS	
Podzólicos Vermelho-Escuros	NITOSSOLOS	
Terras Roxas Estruturadas	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS	
Brunos Não-Cálcicos	NITOSSOLOS	
Brunizéns	ARGISSOLOS NITOSSOLOS	
Brunizéns Avermelhados	LUVISSOLOS	
Rendzinas	CHERNOSSOLOS	
Planossolos	CHERNOSSOLOS	
Solos Hidromórficos (abrupticos)	CHERNOSSOLOS	
Podzóis	PLANOSSOLOS	
	PLANOSSOLOS	
	ESPODOSSOLOS	
Cambissolos	CAMBISSOLOS	2,5
Solos Litólicos	NEOSSOLOS LITÓLICOS	3,0
Solos Aluviais	NEOSSOLOS FLÚVICOS	
Regossolos	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	
Areias Quartzosas	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	
Vertissolos	VERTISSOLOS	
Solos Orgânicos	ORGANOSSOLOS	
Solos Hidromórficos (não abrupticos)	GLEISSOLOS	
Glei Húmico	GLEISSOLOS	
Glei Pouco Húmico	GLEISSOLOS	
Plintossolo	PLINTOSSOLOS	
Laterita Hidromórfica	PLINTOSSOLOS	
Solos Concrecionários		
Lateríticos	PLINTOSSOLOS	
Afloramento Rochoso	AFLORAMENTO ROCHOSO	

Fonte: Crepani et al (2001)(modificado).

A carta de vulnerabilidade a vegetação/uso do solo, representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo. A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de várias formas Crepani et al (1996).

A carta de vulnerabilidade é confeccionada através do cruzamento da carta de vegetação/uso do solo e a de UTB. Após o cruzamento é atribuído valores de vulnerabilidade para este tema no interior das UTBs conforme o Quadro 14.

Quadro 14- Tipo de vegetação e densidade de cobertura.

Tipo de vegetação e densidade de cobertura (influência da vegetação)		
Valor	Classe	Tipo
ao redor de(1,0)	Não favorece (ao redor de 1,0)	Mata e Reflorestamento;
ao redor de(2,0)	Moderado	Pastagem;
ao redor de(3,0)	Favorece	Agricultura de Ciclo curto, Cana-de-açúcar.

Fonte: SPÖRL, 2001 (modificado).

Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado,(geologia, geomorfologia, vegetação/uso do solo, solos e clima), como exemplo a (Figura 33) Ou seja, cada unidade territorial básica recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo.

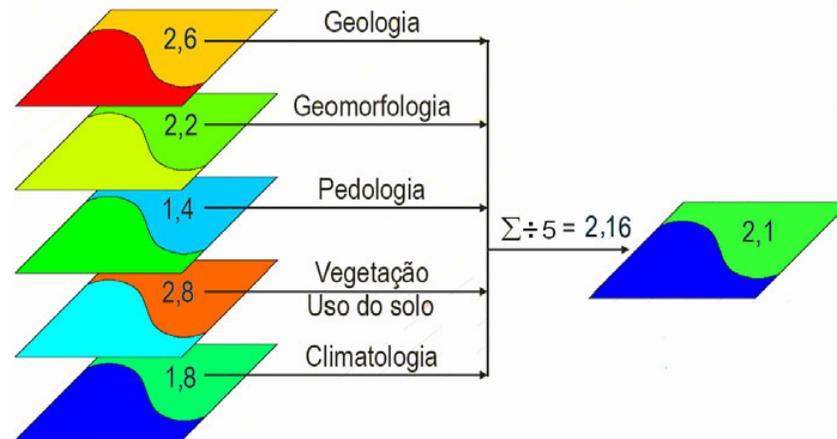


Figura 33- Modelo Numérico, para os Temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso do solo e Clima, com os valores médios de vulnerabilidade ponderados em função do Percentual de Participação no Interior de cada UTB e modelo numérico final obtido pela média dos valores de vulnerabilidade de cada tema no Interior das UTBs. Modificado de Souza (1998) apud Santos, (2007).

Fonte : Crepani et al 2001.

A próxima etapa é a realização do cruzamento de todos os temas, que tem por finalidade a obtenção da média entre os modelos numéricos (geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso do solo) e desta forma integra-se a contribuição de cada componente do meio físico nas diferentes UTBs equação VII Crepani et al (2001).

Nesta fase de construção de dados é necessária à aplicação da Equação VII resultando assim em um único modelo numérico, contendo os valores de vulnerabilidade existentes no intervalo de 1.0 a 3.0, dentro de cada uma das unidades territoriais básicas.

$$V = (G+R+S+VgU+C) / 5$$

Equação VII

Onde:

V= Vulnerabilidade à erosão

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia ;

R =Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = Vulnerabilidade par o tema Solo ;

VgU = Vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso do Solo;

C = Vulnerabilidade para o tema Clima.

Na etapa final da produção da carta temática de vulnerabilidade à erosão, é realizado o fatiamento da carta resultante da etapa anterior que integram todos os temas com a aplicação da equação de vulnerabilidade (equação VII) o que resultará em um único modelo numérico com os valores de vulnerabilidade. Para o fatiamento foram adotados os intervalos numéricos, as classes de vulnerabilidade e as cores mostradas no Quadro 15, resultando assim na carta temática de vulnerabilidade a erosão.

Quadro 15- Cores e Intervalos de Vulnerabilidade/Estabilidade usado na Definição das Classes de Vulnerabilidade à Erosão.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			CORES	
				VERM	VERDE	AZUL		
U1	↑	3,0		255	0	0		
U2		2,9		255	51	0		
U3		2,8		VULNERÁVEL	255	102		
U4	V	2,7		255	153	0		
U5	U	2,6		255	204	0		
U6	L	2,5		MODERADAM.	255	255		0
U7	N	2,4	S	204	255	0		
U8	E	2,3	T	153	255	0		
U9	R	2,2	A	102	255	0		
U10	A	2,1	B	51	255	0		
U11	B	2,0	I	0	255	0		
U12	I	1,9	L	VULNERÁVEL	0	255		51
U13	L	1,8	I	0	255	102		
U14	I	1,7	D	0	255	153		
U15	D	1,6	A	MODERADAM.	0	200	204	
U16	A	1,5	D	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	D	1,4	E	0	204	255		
U18	E	1,3	↓	0	153	255		
U19		1,2		0	102	255		
U20		1,1		ESTÁVEL	0	51	255	
U21		1,0		0	0	255		

Fonte: Crepani et al (2001).

A metodologia de Crepani et al (2001) foi elaborada para os Estados que compreendem a Amazônia Legal, o Zoneamento Ecológico Econômico descrito nesta metodologia foi realizado na escala 1:100.000. A metodologia de Crepani et al (2001), buscou atender diversos públicos, pois, na ausência das cartas em 1:100.000, a metodologia fornece uma segunda opção de quadros classificatórios das classes de vulnerabilidade para os temas do meio físico.

Se o pesquisador possui a carta em escala maior ou igual a 1:25.000, existe a possibilidade de utilizar outras opções de classificação de vulnerabilidade as quais, já foram apresentadas nesta dissertação. Assim quanto maior o detalhamento da escala mais próximo da realidade será o estudo

As etapas para a elaboração de cartas de vulnerabilidade a erosão podem ser visualizadas pela Figura 34 o qual foi elaborado um fluxograma resumo com as suas subdivisões da presente metodologia.

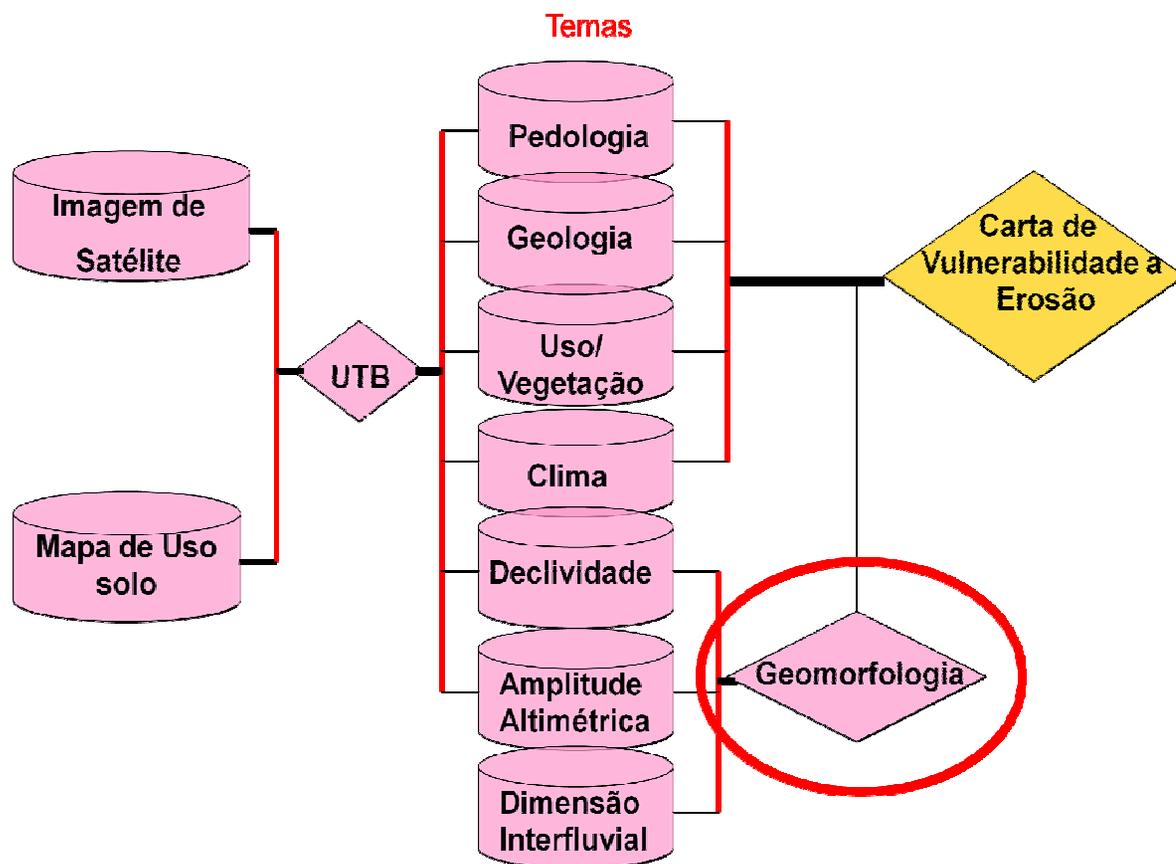


Figura 34- Fluxograma das etapas realizadas na presente pesquisa

6 Resultados

A análise dos resultados foi realizada a partir das tabelas de vulnerabilidade/estabilidade situada na metodologia de Crepani et al (2001) e abordada por Santos (2007), nas quais serão constatadas a vulnerabilidade de cada tema e sub-tema na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano.

6.1 Geologia

A resistência à erosão das rochas que compõem uma unidade de paisagem natural é consequência do grau de coesão das rochas. O grau de coesão das rochas significa a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Sendo assim, foram atribuídos valores próximos à estabilidade (1,0) para as rochas que apresentam maior grau de coesão para as condições as quais estão submetidas à unidade de paisagem natural, valores intermediários (em torno de 2,0) para as rochas que apresentam valores intermediários no seu grau de coesão, e valores próximos à vulnerabilidade (3,0) para as rochas que apresentam os menores valores no seu grau de coesão.

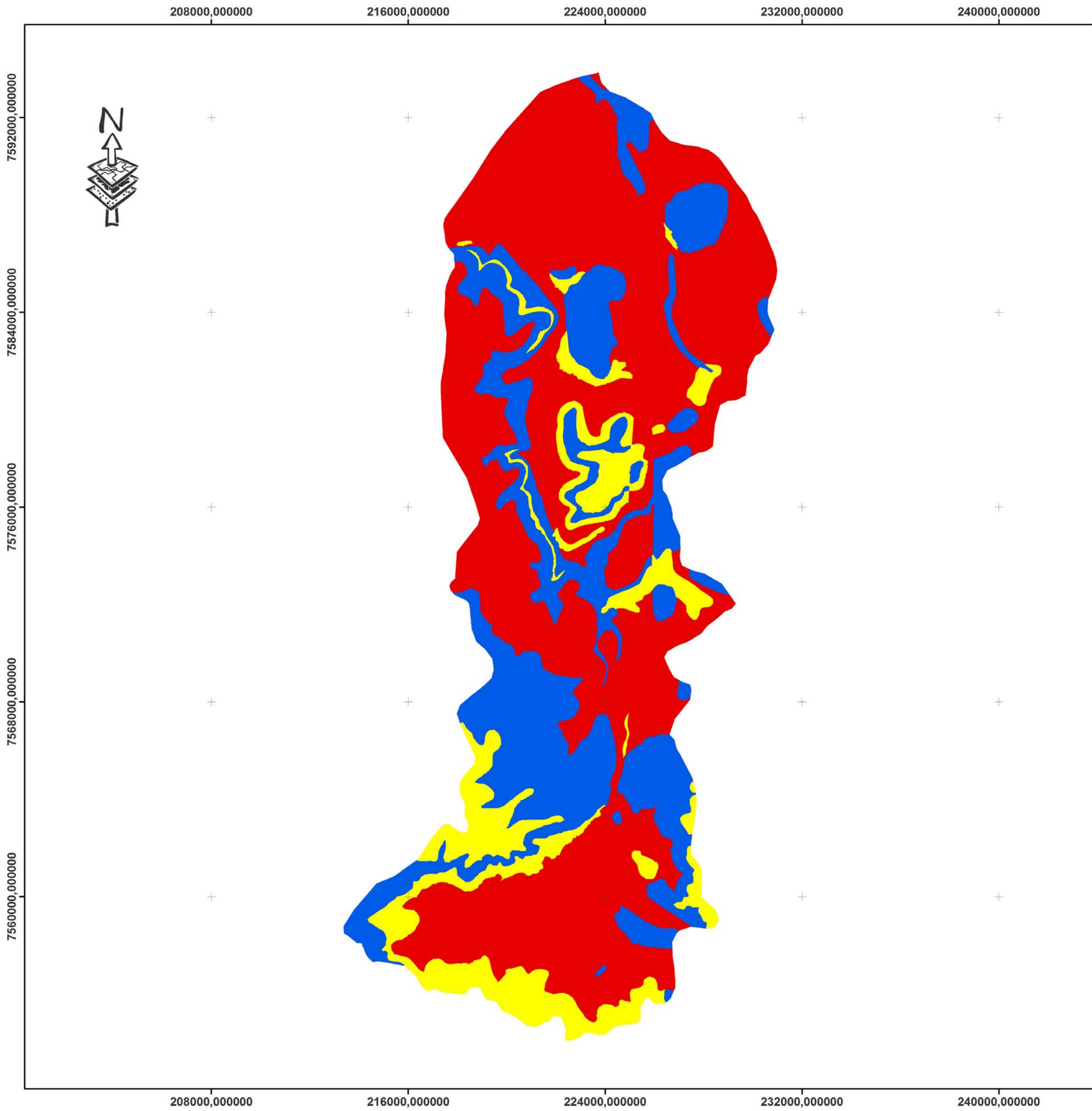
O objetivo de se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade é empírico. As litologias mais comumente encontradas foram classificadas conforme o (Quadro 12) em que foram considerados todos os aspectos com relação ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

No mapa de vulnerabilidade ao tema geologia (Barbosa e Lorandi, 2009b) mostra extensas áreas classificadas como vulnerável Figura 35, observa-se um predomínio desta classe na bacia do Ribeirão do Pântano, assim tais áreas necessitam especial atenção. Esta vulnerabilidade pode estar associada à litologia deste local, pois é composta pelo predomínio da formação Santa Rita do Passa Quatro, a qual é constituída de areia sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, e uma menor porção de Quaternário. Estes materiais recebe o valor 3,0 sendo o menor grau de coesão conforme a Quadro 12. A formação Santa Rita do Passo Quatro tem uma distribuição de até 94% de areia com matriz argilosa de até 19%. Este predomínio de areia na distribuição da área pode ser um dos fatores preponderantes

para a obtenção do resultado “classe vulnerável” ao tema geologia. Os sedimentos Quaternários na bacia do Ribeirão do Pântano são classificados a “classe vulnerável”, pois são encontrados ao longo do rio e com maior abrangência em suas cabeceiras.

As áreas moderadamente vulneráveis em relação à geologia têm maior ocorrência na foz da bacia. As formações geológicas que ocorrem neste tema de vulnerabilidade são: a Formação Itaqueri, a Formação Botucatu e a Formação Pirambóia. Estas formações recebem respectivamente valores de vulnerabilidade 2,5, 2,4 e 2,4 sendo classificadas como um grau intermediário de coesão. A Formação Pirambóia é constituída por arenitos, variando de médio a fino, ocupando a menor área na bacia do Pântano em comparação com as geologias da classe moderadamente vulnerável. A Formação Itaqueri pode ser visualizada nas nascentes da bacia do Pântano, sendo constituída litologicamente por membros alternados de arenito com cimento argiloso folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. A Formação Botucatu, dentre as três formações geológicas na classe moderadamente vulnerável, é a que possui maior área de superfície e encontra-se por toda bacia do Pântano. Esta formação é constituída por arenitos eólicos muito finos a médios, regularmente e bem classificados, e a sua alta permeabilidade, porosidade e homogeneidade contribuem para formação do aquífero Guarani.

As áreas classificadas como moderadamente estável estão dispersas ao longo da bacia, sendo compostas por duas formações geológicas: a Formação Serra Geral e as Intrusivas Básicas recebem os valores respectivamente valores 1,5 e 1,4, constituindo um alto grau de coesão. A Formação Serra Geral e as Intrusivas Básicas são constituídas de rochas originárias dos derrames de lavas basálticas e pelos diabásios intrusivos tanto na forma de soleiras (sills) como de diques.



LEGENDA

Vulnerabilidade ao tema geologia

- Moderadamente Estável
- Moderadamente Vulnerável
- Vulnerável

Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD 69 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.
 fontes: 8 4 0 8 16
 mapa geologia Moraes, Lorandi, 2007a)
 limites cidades: geosnic, 2008.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico**

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA, DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 35 **Mapa de Vulnerabilidade ao
 tema Geologia**

A Figura 36 apresenta as informações quantitativas em relação à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema geologia. A classe vulnerável apresenta uma área de 232,47 km², correspondendo a 59,4 % da bacia. A classe moderadamente vulnerável apresenta uma área de 51,64 Km², sendo 13,2 % da bacia. A classe moderadamente estável apresenta uma área de 107,01 km², referente a 27,4% da bacia.

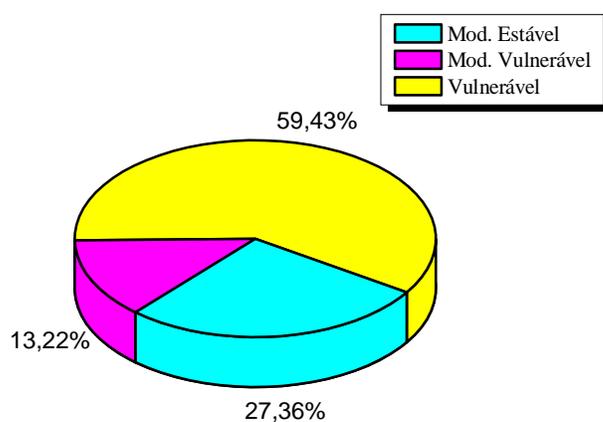


Figura 36- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade à geologia

6.2 Pedologia

A erodibilidade dos solos varia de acordo com as propriedades do mesmo. Esta erodibilidade é considerada a capacidade de resistir aos processos erosivos. O solo oferece resistência à ação erosiva da água determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas e pela densidade da cobertura vegetal.

Os latossolos são solos bem desenvolvidos, possuem grande profundidade e porosidade, sendo considerados solos velhos e maduros. Apresentam ainda, os horizontes A, B, e C bem desenvolvidos. Em geral são poucos suscetíveis ao processo erosivo e recebem a classificação de valor 1, ou seja, Classe de vulnerabilidade estável.

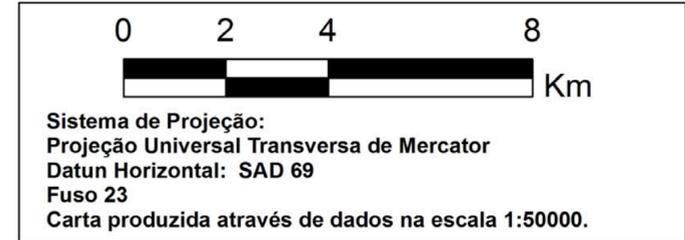
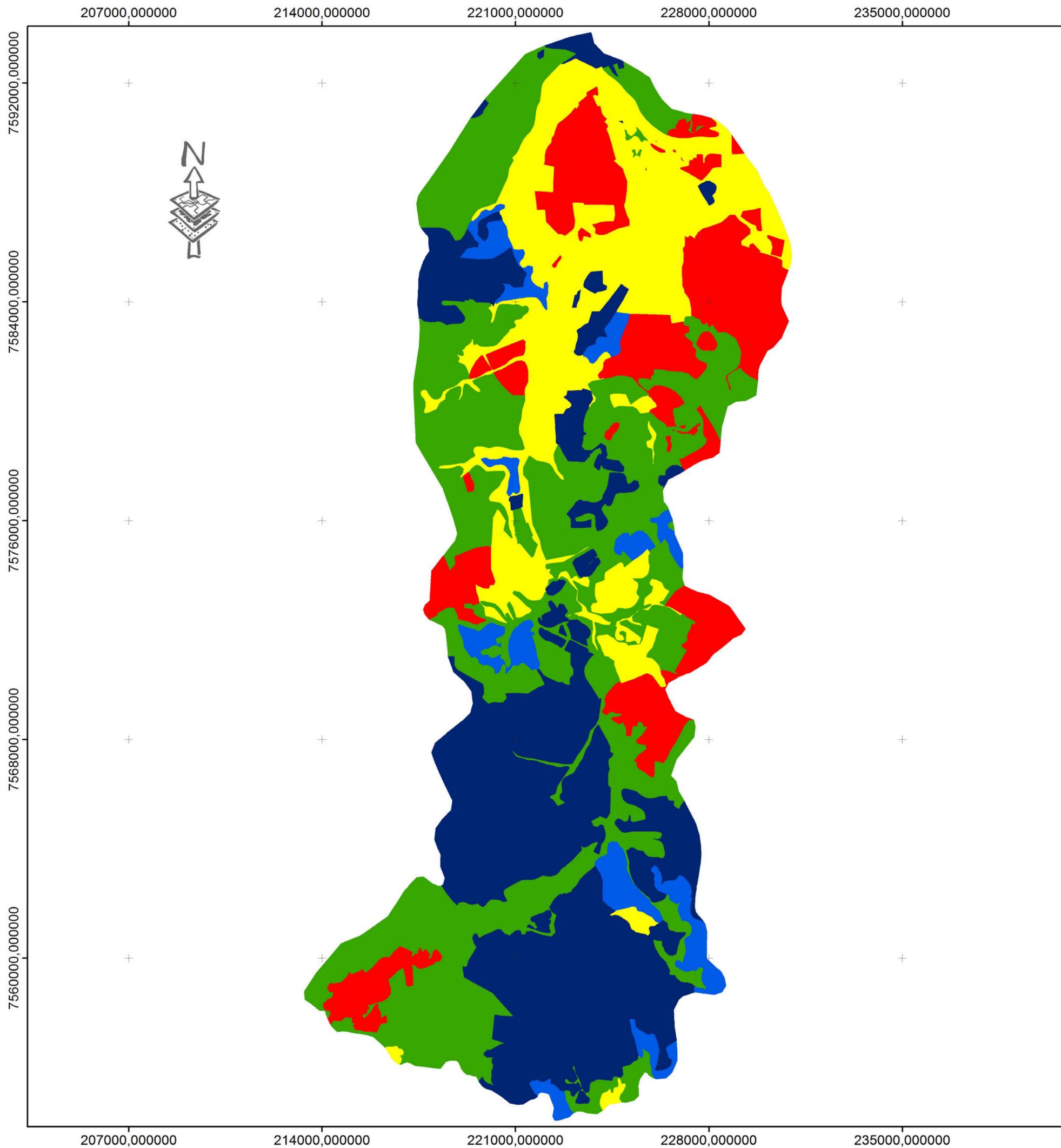
Os solos Podzólicos, quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Nos solos Podzólicos ocorre também um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila se translocou por eluviação do horizonte A para o horizonte B, acumulando-se. Nestes solos a diferença de textura, entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B), dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos, assim recebem a classificação 2, sendo considerado de vulnerabilidade intermediária.

Partindo da metodologia de Crepani et al (2001), a classificação da vulnerabilidade e estabilidade do solo foi realizada dentro dos limites das UTBs. Dentro do polígono das UTBs em alguns casos ocorreram diferentes litologias. Para estes casos foram adotados a média ponderada resultando, portanto, em uma classificação diferenciada.

Para critério de hierarquização da vulnerabilidade dos solos, no presente estudo, foram considerados os tipos de solos Areias Quartzosas (Neossolo Quartzarênico), Latossolo Vermelho-Amarelo (Latossolo Amarelo), Latossolo Vermelho-Escuro (Latossolo Escuro), Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo), Solos Litólicos (Neossolos), Terra Roxa Estruturada (Nitossolo Vermelho) e Solos Hidromórficos (Gleissolos).

Através da Figura 37 pode-se mostrar que o grau de vulnerabilidade à erosão, classificado como estável, foi influenciado quase que em sua totalidade pelo solo Latossolo Vermelho-Amarelo. A classe vulnerável refere-se a quase toda sua totalidade as áreas de solo Neossolo Quartzarênico.

A Figura 38 apresenta as informações quantitativas à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema solo. Para a classe vulnerável apresenta-se uma área de 59,40 km², correspondendo a 15,14% da bacia. Na classe moderadamente estável apresenta-se uma área de 18,28 km², representando 4,66 % da bacia. A classe mediamente vulnerável apresenta-se uma área de 77,65 km², equivalente a 19,78 % da bacia. Para classe mediamente estável vulnerável apresenta-se uma área de 129,07 km², ou seja 32,89 % da bacia. Na classe estável apresenta-se uma área de 108,08 km², sendo 27,54 % da bacia.



Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA, DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 37 **Mapa de vulnerabilidade
 ao tema Pedologia**

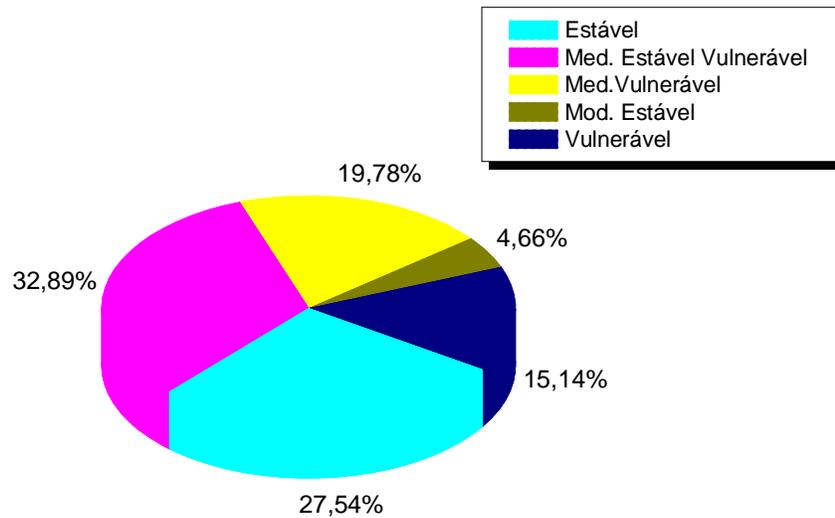


Figura 38- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao tema pedologia

6.3 Vegetação e uso do solo

Os elementos da vegetação e uso do solo estão relacionados à proteção do solo contra os processos morfogenéticos, como a erosão. Não há uma classificação de uso da terra que seja única e ideal, pois existem diferentes perspectivas no processo de classificação, e cada classificação é feita de forma a atender as necessidades da pesquisa.

A erosão e o transporte de sedimentos ocorrem de forma diferente na área rural e urbana. Na área urbana predomina a concentração do fluxo de sedimentos e a intensa movimentação de terras bem como a impermeabilização do solo, alterando assim significativamente a topografia e causando deficiência no sistema de drenagem. Na área rural o solo é o elemento primordial para as suas atividades, no entanto conforme o tipo de cultura instalada pode haver maior ou menor exposição do solo às gotas de chuva. Se o solo se encontra desnudo haverá um maior carregamento de sedimentos para o curso d'água.

Se há vegetação protegendo o solo, o transporte de sedimentos será menor dependendo do tipo do solo. Nas áreas agrícolas pode ocorrer a alteração das propriedades físicas e químicas, levando assim a uma perda da produtividade, e ainda simultaneamente à perda da resistência à erosão.

A bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano está inserida em uma área rural na qual foram classificados os usos do solo por Moraes e Lorandi (2007), no período de 2006, conforme a sua homogeneidade:

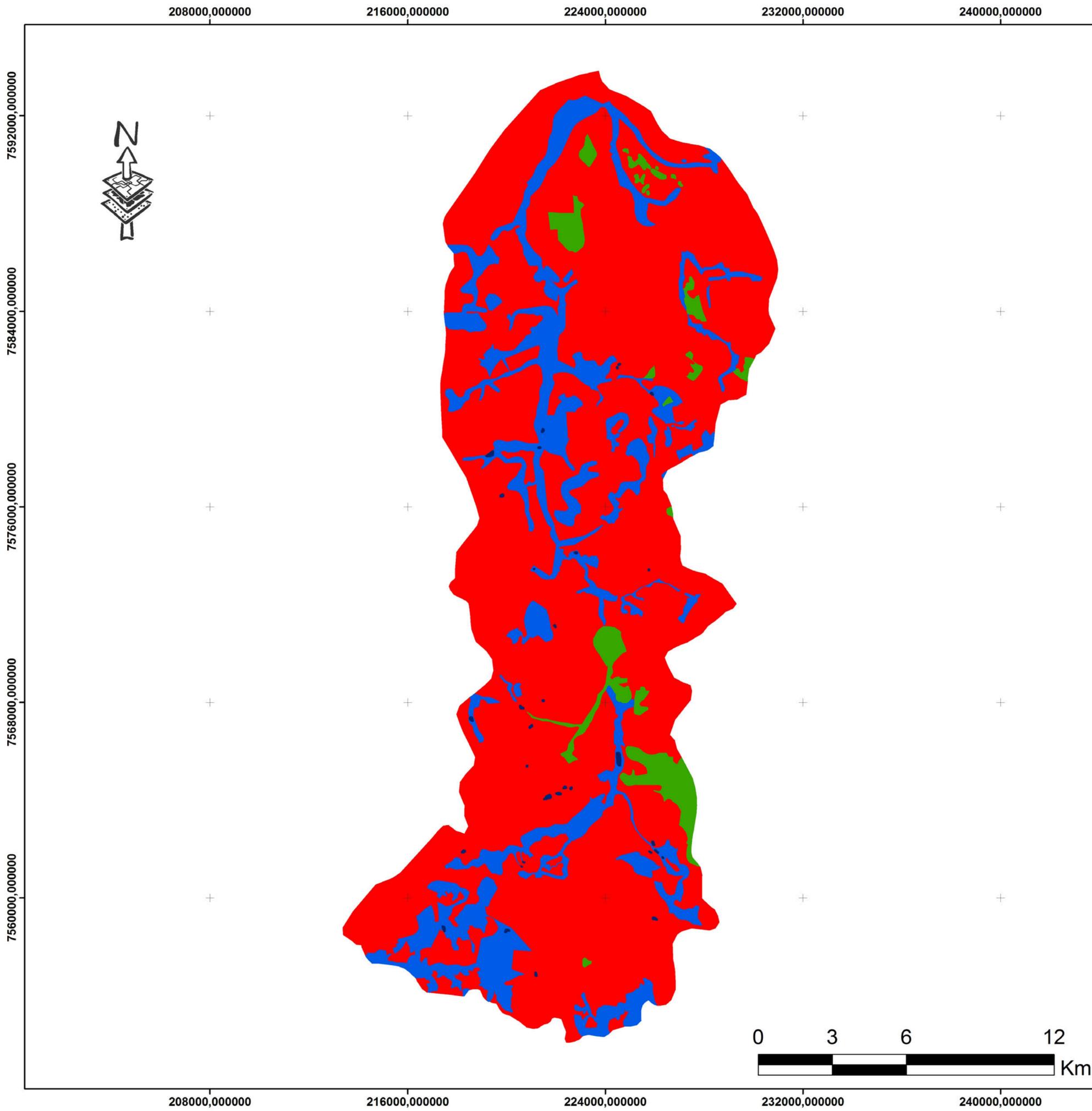
- Mata Ciliar – nesta classe foram agrupadas as áreas cobertas pela mata ciliar que acompanha os rios;
- Mata Mesófila – nesta classe foram agrupadas as áreas cobertas por remanescentes da Floresta Estacional Semidecídua;
- Cerrado – referem-se aos remanescentes de cerrado “senso estrito” e cerradão;
- Cana-de-açúcar – refere-se às áreas que se encontravam cultivadas com cana-de-açúcar na época da passagem do satélite;
- Laranja – áreas que apresentam o cultivo de laranja;
- Eucalipto – áreas de cultivo de espécies de reflorestamento, onde predominam variedades de *Eucalyptus*;
- Pastagem – corresponde às áreas de pastagem natural e cultivada;
- Solo exposto – áreas onde o solo aparece desprovido de vegetação ou algum outro tipo de ocupação, incluindo as áreas de preparo do solo para cultivos, principalmente da cana-de-açúcar, e loteamentos sem cobertura vegetal;
- Represa – corresponde às áreas cobertas por represas;
- Pesque-pague – corresponde a um pesque-pague existente na área;
- Usos diversos – áreas que apresentam culturas temporárias de curta ou média duração, incluindo cultivos de milho, sorgo, mandioca, café, algodão, entre outros tipos de cultivo que também ocorrem na bacia, apesar da baixa representatividade.

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem determina a capacidade de proteção da unidade. Isto é, determina-se o valor aproximado da estabilidade (1,0), apresentando valores intermediários (em torno de 2,0) ou mesmo apresentando baixa densidade de cobertura vegetal, sendo então vulneráveis aos valores próximos a 3,0, Crepani, et al (2001).

Para melhor atender aos objetivos desta pesquisa, os usos do solo e vegetação foram sistematizados através da classificação, Crepani et al 2001,

seguindo a nomenclatura do projeto RADAMBRASIL (1973-1987), citado por Crepani, et al (2001), bem como a modificação das varias formações de vegetação, de acordo com IBGE (1992), conforme indica o Anexo 2. Para as coberturas do terreno que não estão no Anexo 2, como as pastagens, as culturas perenes e as culturas anuais, utilizam-se respectivamente os valores de 2,8, 2,9 e 3,0 da escala de vulnerabilidade natural.

Partindo da metodologia de Crepani et al 2001, a classificação da vulnerabilidade e estabilidade (Figura 39) do uso do solo e vegetação foi realizada dentro dos limites da UTBs. Dentro do polígono das UTBs em alguns casos ocorreram diferentes usos. Para estes casos, a média ponderada foi adotada resultando assim em uma classificação diferenciada.



LEGENDA

Vulnerabilidades

- Estável
- Mediamente Estável Vulnerável
- Moderadamente Estável
- Vulnerável

Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 39 **Mapa de Vulnerabilidade ao
 tema uso do solo**



A Figura 40 apresenta as informações quantitativas à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema uso do solo e vegetação. Para a classe vulnerável apresenta-se uma área de 313,03 km², sendo a 79,69 % da bacia. Para a classe moderadamente estável apresenta-se uma área de 65,05 km², correspondendo a 16,56% da bacia. Para classe mediamente estável vulnerável apresenta-se uma área de 14,14 km², equivalente a 3,6% da bacia. Para classe estável apresenta-se uma área de 0,56 km², sendo 0,14% da bacia.

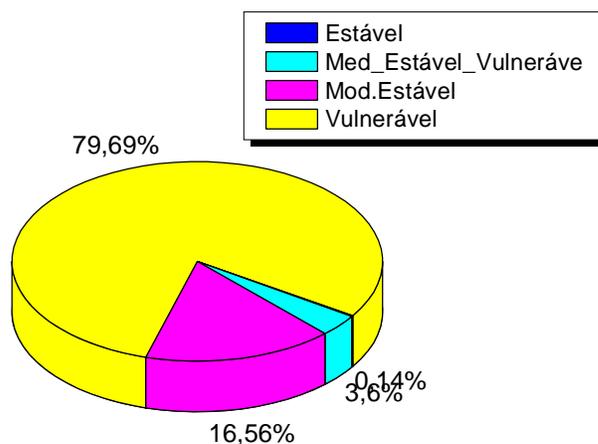


Figura 40- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao tema uso do solo e vegetação

6.4 Clima

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o macro tipo climático da região é o Clima Tropical Úmido-Seco, com 1 a 3 meses de seca. Este macro tipo climático apresenta forte heterogeneidade térmica, expressando médias térmicas anuais que vão de 20°C, na porção sul, a 26°C, na porção centro-norte. A média das máximas pode atingir 36°C em setembro, o mês mais quente na região.

Segundo Bertoni & Lombardi (1999), a chuva é um fator climático de maior importância à erosão do solo. As gotas de chuva, que golpeiam o solo, contribuem para o processo erosivo, em ao menos por três formas:

- Desprendendo as partículas de solo no local que sofre o impacto;

- Transportando, por salpicamento, as partículas desprendidas;
- Imprimindo energia, em forma de turbulência, às águas superficiais.

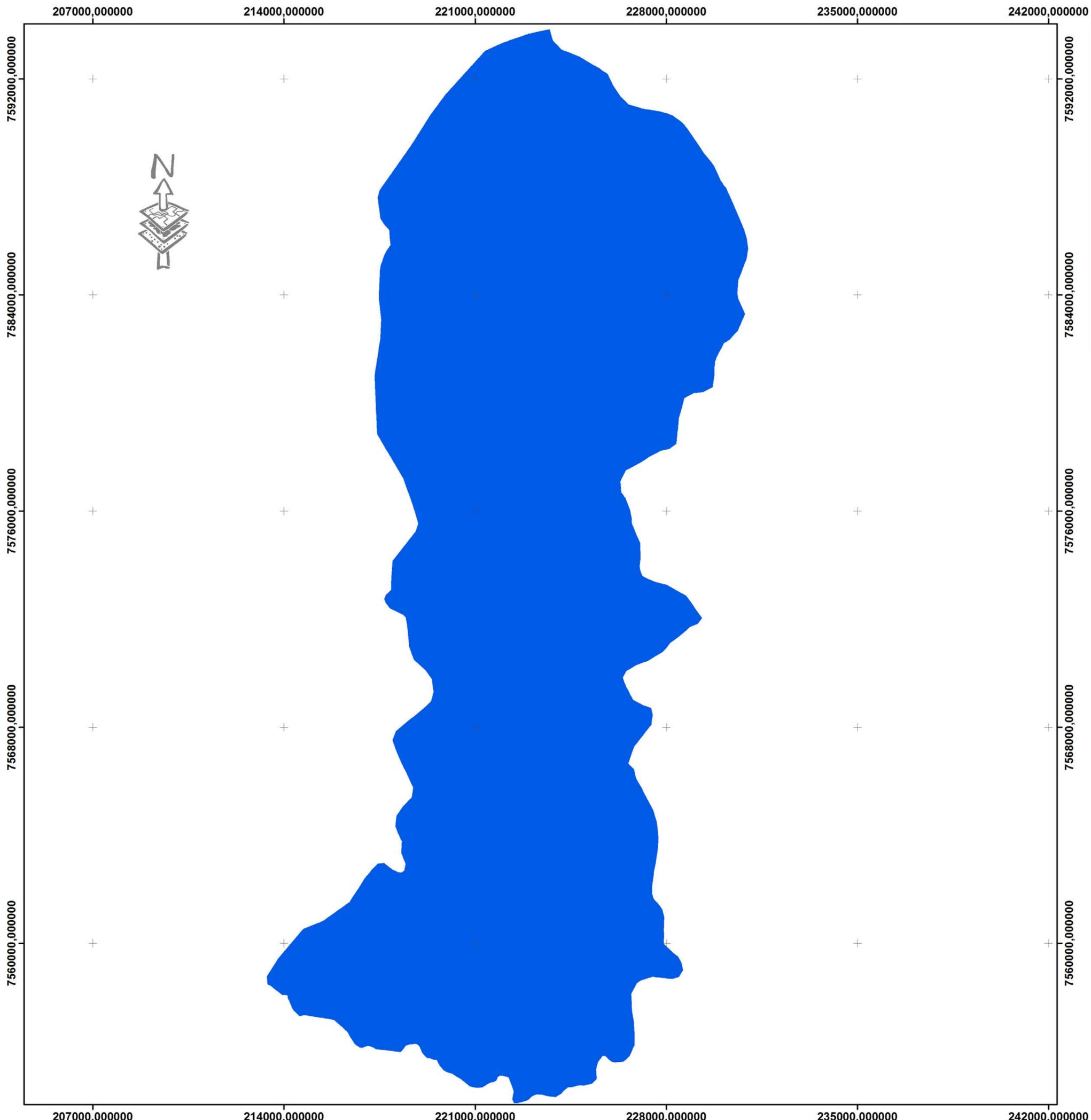
A bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano está inserida na sua maior totalidade na cidade de Descalvado, e em uma menor área nas cidades de Analândia e São Carlos. Os dados pluviométricos levantados, segundo SIGRH (sistema de informações para o gerenciamento de recursos hídricos do estado de São Paulo), situam-se no período de 1978 a 2004, Quadro 16.

Quadro 16- Dados pluviométricos dos postos que foram utilizados na Bacia do Pântano.

Municípios	Intensidade pluviométrica de acordo com a metodologia	Nome do Posto	Coord. dos Postos	
			latitude:	longitude:
Descalvado	131,128	Faz. Santa Rita	21°58'	47°42'
São Carlos	127,427	Faz. Santa Barbara	22°06'	47°59'
Analândia	120,371	Analândia	22°08'	47°40'
média total	126,309	-	-	-

Fonte: SIGRH(2009) período 1978-2004

Para a representação dos dados pluviométricos da bacia, foi realizada a média aritmética dos dados obtidos para as três cidades. Após obter a média, o grau de vulnerabilidade foi classificado, conforme o Quadro 11, como sendo moderadamente estável, Figura 41.



LEGENDA

 **Moderadamente Estável**

0 2 4 8 Km

Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69 Fuso 23
 Carta produzida através de dados do site
www.sigrh.sp.gov.br

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa
 Reinaldo Lorandi (orientador)

FIGURA: 41

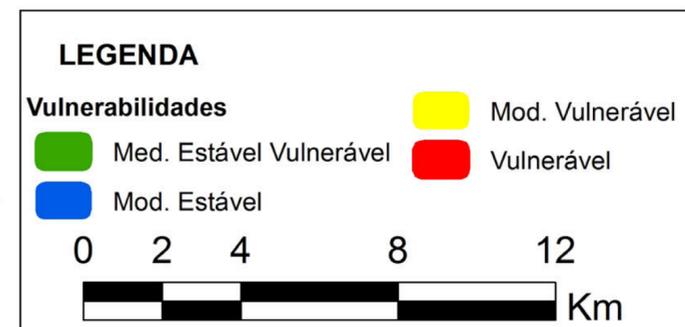
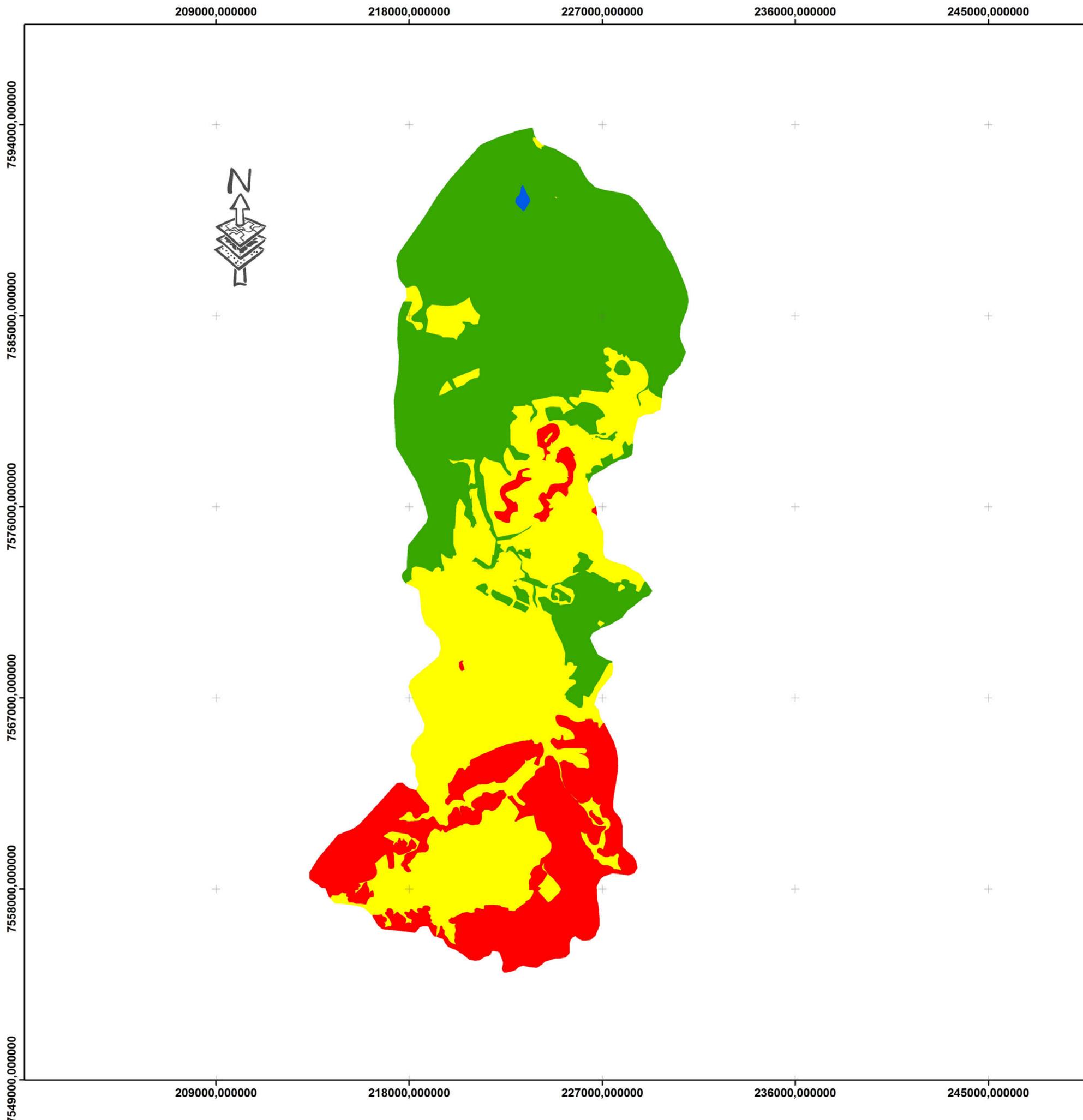
**Mapa de Vulnerabilidade ao
 tema Clima**

6.5 Geomorfologia

A influência do relevo no processo de erosão é consequência da sua morfologia que se subdivide em morfografia, aspectos descritivos do terreno como a sua aparência, e em morfometria, aspectos quantitativos do relevo como altitude, amplitude altimétrica, declividade e intensidade de dissecação pela drenagem, Spörl (2001). No tema geomorfologia foi confeccionado no mapa da “vulnerabilidade ao tema geomorfologia” que procurou descrever o modelo do terreno, fornecendo informações sobre as suas formas (morfológicas), variação altimétrica (amplitude altimétrica) e intensidade de dissecação (dimensão interfluvial) bem como a declividade que serão detalhas posteriormente através da vulnerabilidade a estes sub-temas.

A presente pesquisa abordou somente a geomorfologia quantitativa. Estas informações, relacionadas à forma de relevo da unidade de paisagem natural, permitem que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para o escoamento superficial (“runoff”), isto é, a transformação de energia potencial em energia cinética, responsável pelo transporte de materiais que esculpe as formas de relevo. Dessa maneira, podemos entender que em unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos¹. O resultado na Figura 42 foi obtido através do cruzamento das informações de três sub-temas, referentes ao tema geomorfologia. Os sub-temas utilizados no cruzamento foram: i) amplitude altimétrica, ii) declividade e iii) dimensão interfluvial, os quais forneceram às classes de vulnerabilidade de i) mod. estável, ii) mod. estável e med. estável vulnerável e iii) mod. vulnerável, respectivamente. Por meio dos dados obtidos (Figura 42) foi constatado que a vulnerabilidade, na foz da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe moderadamente estável vulnerável. Na (Figura 42) foi constatado que a vulnerabilidade, na nascente da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe moderadamente vulnerável e vulnerável.

¹ Quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.



Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA, DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 42
**Mapa de Vulnerabilidade ao
 Tema Geomorfologia**

A Figura 43 apresenta as informações quantitativas em relação à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema geomorfologia. Para a classe mediamente estável vulnerável apresenta-se uma área de 170,83 km², ou seja, 43,49 % da bacia. A classe moderadamente estável apresenta-se uma área de 0,60 km², correspondente a 0,15 % da bacia. Na classe moderadamente vulnerável apresenta-se uma área de 153,04 km², equivalente a 38,96 % da bacia. Para a classe vulnerável apresenta-se uma área de 68,33 km², sendo 17,39 % da bacia.

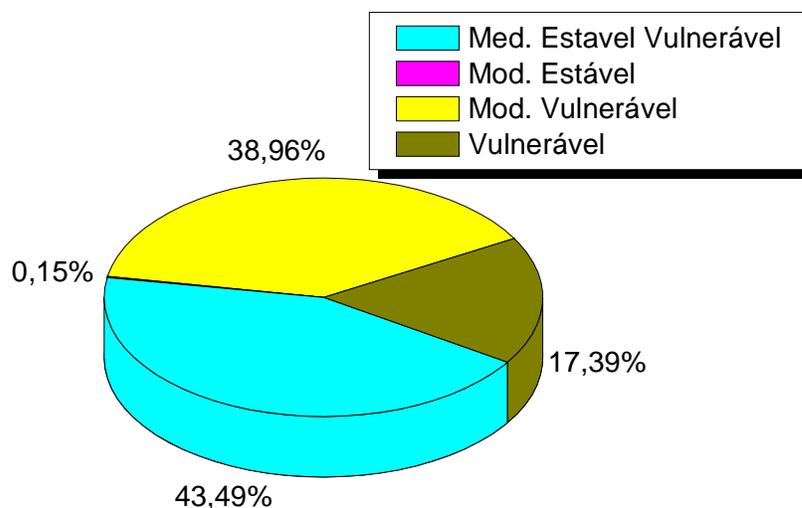


Figura 43- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao tema geomorfologia

Deve ser lembrado, no entanto, que para a Geomorfologia, a média entre todos os sub-temas analisados é o que caracteriza a unidade em estável ou instável.

6.5.1 Dimensão Interfluvial

A carta de dimensão interfluvial segundo Barbosa e Lorandi (2009a) é um sub tema que complementa do tema geomorfologia. Para obter a carta de dimensão interfluvial é realizado medições feitas na carta topográfica e na drenagem da bacia hidrográfica. Para obtenção da carta de vulnerabilidade de dimensão interfluvial, a bacia de estudo foi subdividida em menor número de sub-bacias. Para a bacia em estudo este número foi de seis sub-bacias. No interior de cada sub-bacia é medida a distâncias dos interfluvios em relação à hidrografia sobre as curvas de nível. Após obter a média aritmética de cada uma das seis bacias, foi classificada a vulnerabilidade do sub-tema, Figura 44.

Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema dimensão interfluvial predomina a classe vulnerável, contendo uma área de 323,7 Km² correspondente a 83,3% da área total da bacia. Ao norte da bacia foi constatada a classe moderadamente vulnerável, contendo uma área de 65,08 Km² equivalente a 16,7% da área total da bacia, sendo que a área que comporta a foz do Ribeirão do Pântano contém a menor altitude 540 m. Pode-se verificar a proporção de cada classificação de vulnerabilidade consultando a Figura 45.

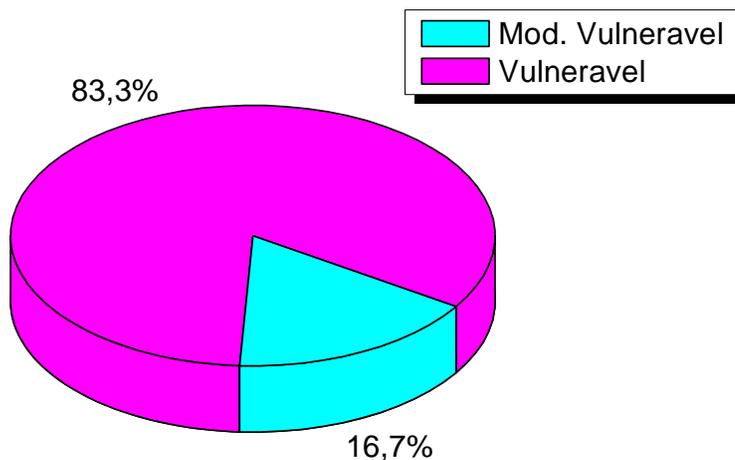
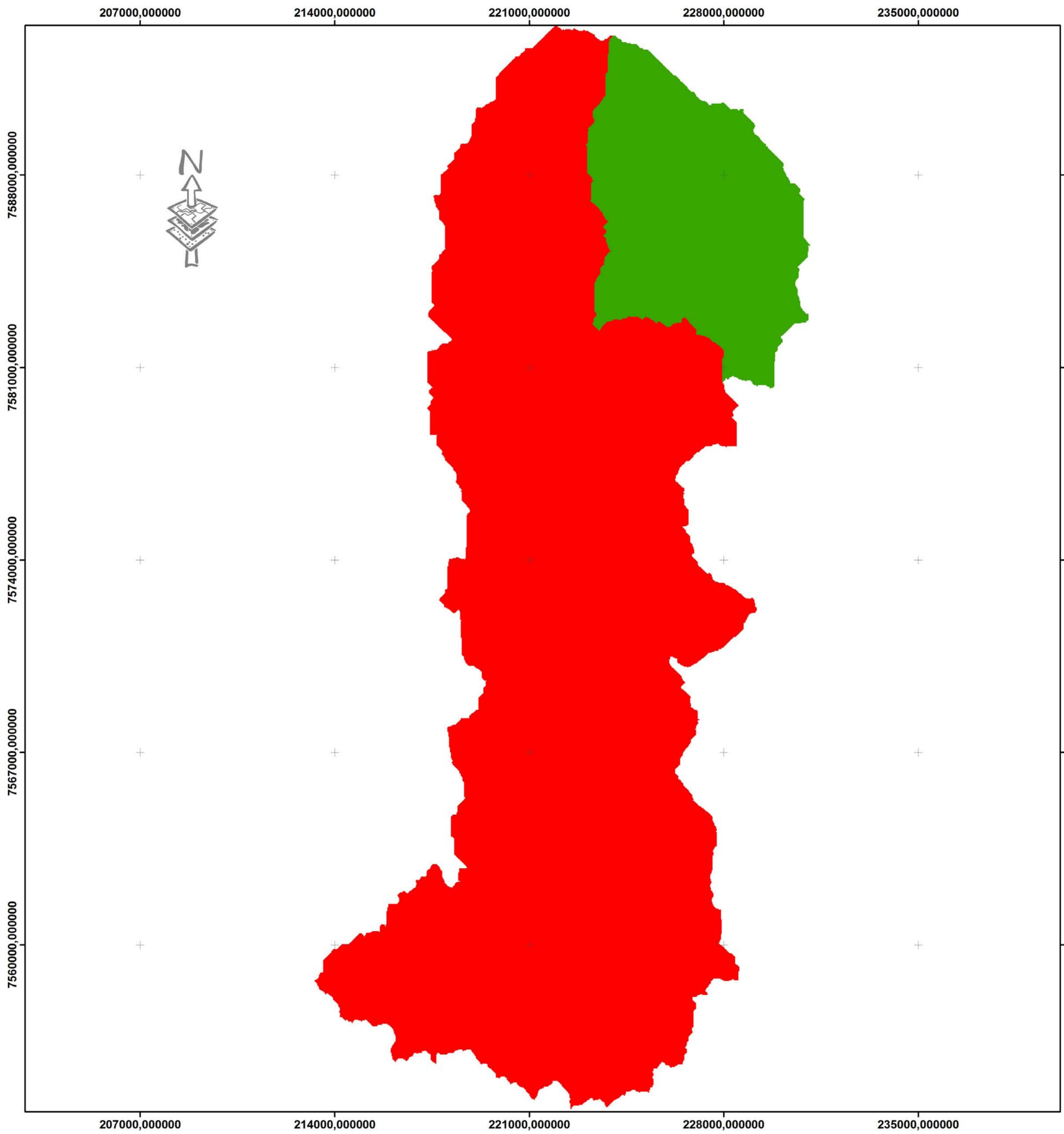


Figura 44- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao sub-tema dimensão interfluvial.



LEGENDA

Vulnerabilidades

- Moderadamente Vulnerável
- Vulnerável

0 2 4 8 Km

Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**

Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 45

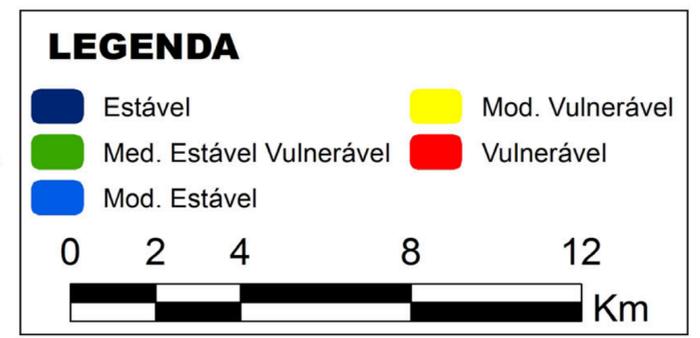
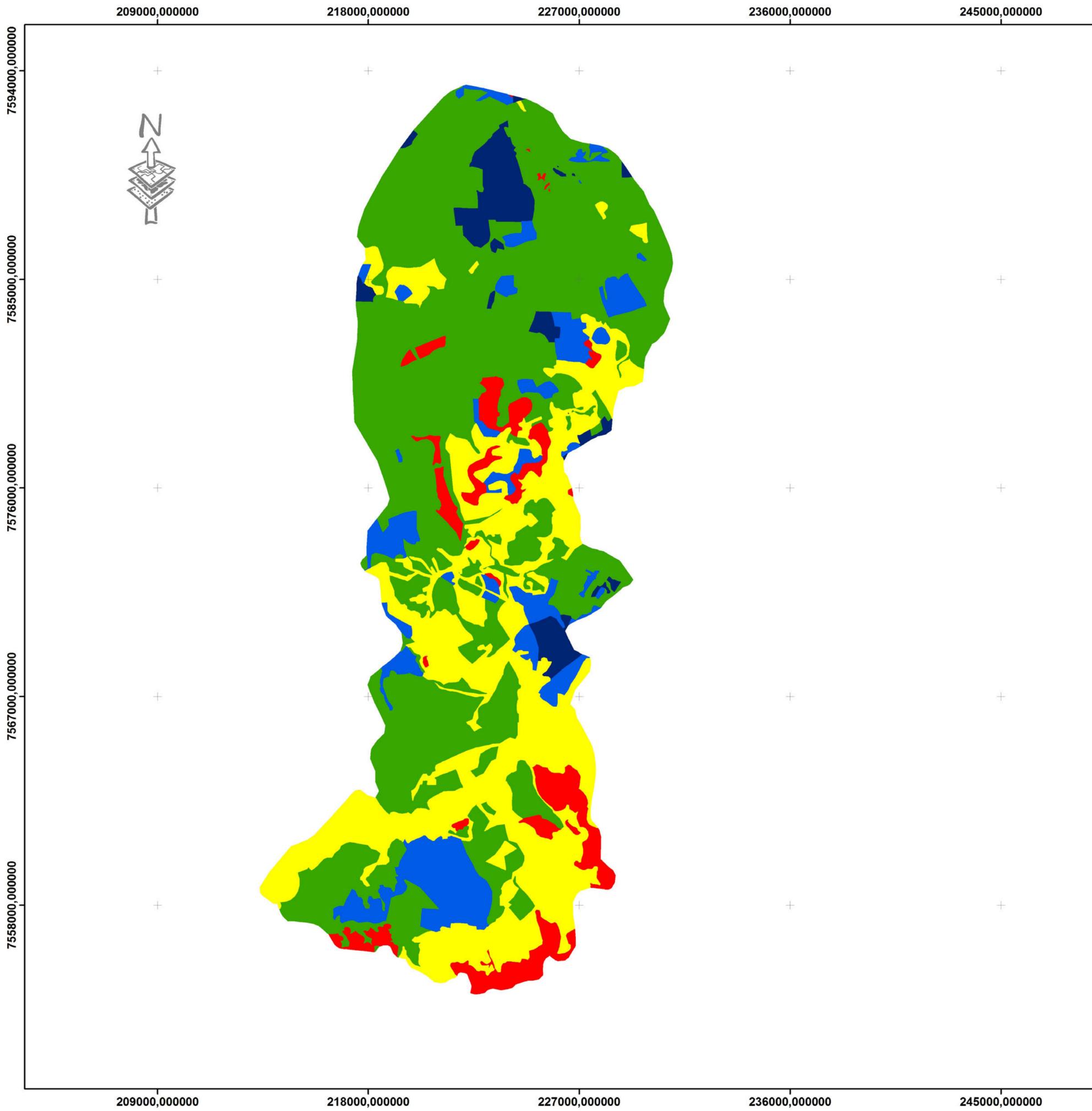
**Mapa de Vulnerabilidade ao
 sub tema
 Dimensão Interfluvial**

6.5.2 Declividade

O mapa de vulnerabilidade ao sub-tema declividades foi gerado a partir das bases topográficas na escala 1:50.000, utilizando-se as rotinas do programa ArcGIS, Figura 46. A partir do modelo digital de elevação foi usado o comando slope. O plano de informação (PI) foi transformado em informação raster, na forma de um grid com malha de 10 metros, de forma a se obter a rede irregular de triângulos (modelo TIN). A partir desta rede, a rotina “derive slope” calculou a máxima variação (declividade) entre os centros dos triângulos, gerando uma malha contínua de dados de declividade. A seguir as declividades foram classificadas segundo as subdivisões de declividade da metodologia de Crepani et al (2001).

A declividade da bacia tem uma relação importante e também complexa com a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo e a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d’água. É um dos fatores mais importantes que controla o tempo do escoamento superficial e o da concentração da chuva e tem uma importância direta em relação à magnitude da enchente. Quanto maior a declividade, maior a variação das vazões instantâneas.

Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema declividade Figura 47 predomina a classe mediantemente estável vulnerável, contendo uma área de 208,79 Km² correspondente a 53,34% da área total da bacia. Na classe moderadamente estável contém uma área de 38,16 Km² equivalente a 9,75 % da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 104,65 Km² correspondente a 26,74% da área total da bacia. Para a classe vulnerável contém uma área de 24,29 Km² correspondente a 6,21% da área total da bacia. A classe estável contém uma área de 15,51 Km² correspondente a 3,96% da área total da bacia.



Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 46 **Mapa de Vulnerabilidade ao
 sub-tema Declividade**

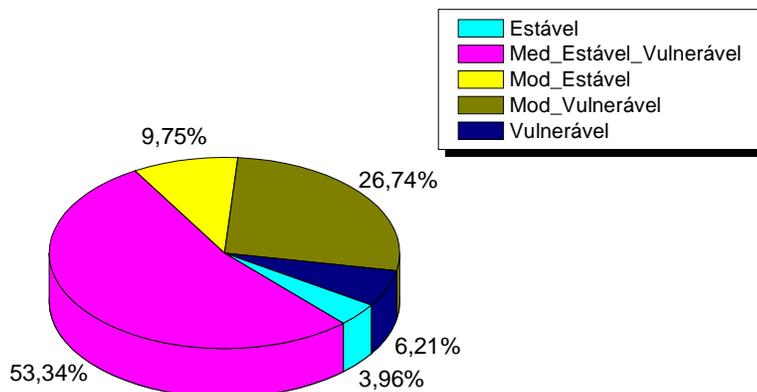


Figura 47- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao sub-tema declividade.

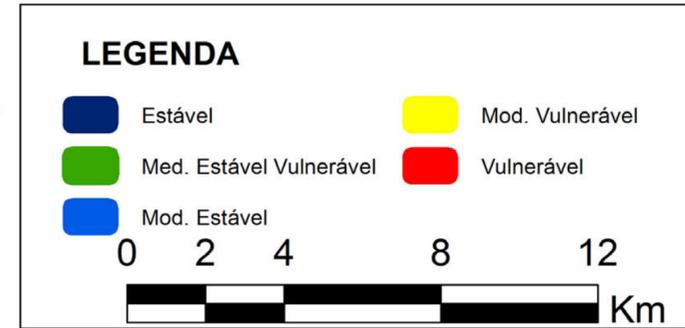
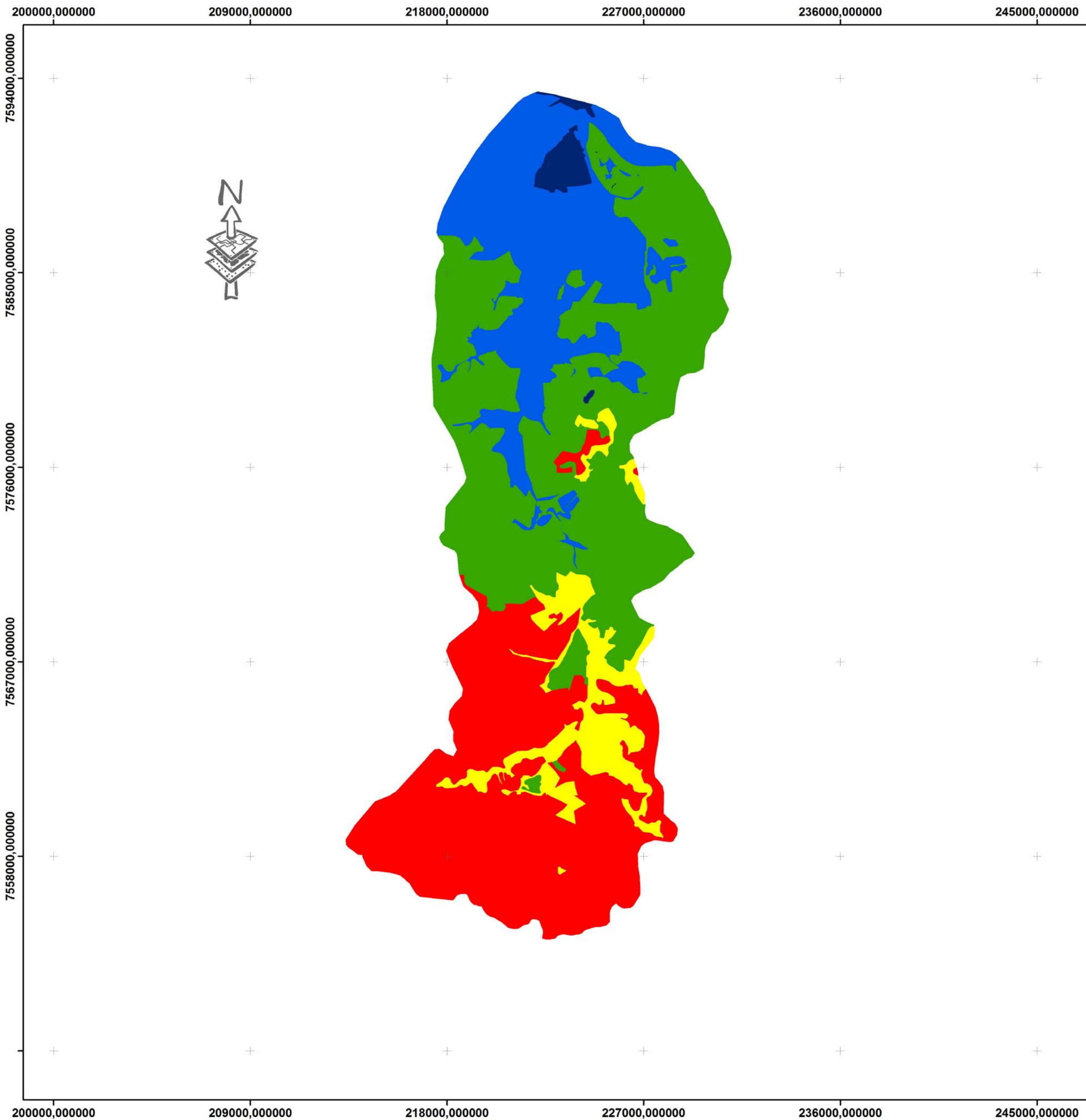
6.5.3 Amplitude Altimétrica

Como foi mencionada na metodologia, a amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máximas e mínimas contidas na unidade de paisagem natural, realizado a partir dos dados de altimetria das cartas topográficas.

A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o “runoff”. Quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois as águas das precipitações pluviais, que caem sobre os pontos mais altos do terreno, adquirirão maior energia cinética no seu percurso, em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese, Crepani et al (2001).

A vulnerabilidade ao sub-tema amplitude altimétrica, Figura 49, consta o predomínio da classe mediamente estável vulnerável, contendo uma área de 146,93 Km² correspondente a 37,54 % da área total da bacia. Para classe moderadamente estável, contém uma área de 87,98 Km² correspondente a 22,48 % da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 32,09 Km² correspondente a 8,2% da área total da bacia. A classe vulnerável contém uma área de 118,94 Km² correspondente a 30,39% da área total da bacia. Na classe estável contém uma área de 5,48 Km² correspondente a 1,4 % da área total da bacia.

Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema amplitude altimétrica, Figura 48, predomina a classe mediamente estável vulnerável na sua porção média até a foz da bacia.



Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA, DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 48
**Mapa de Vulnerabilidade ao
 sub- tema Amplitude Altimétrica**

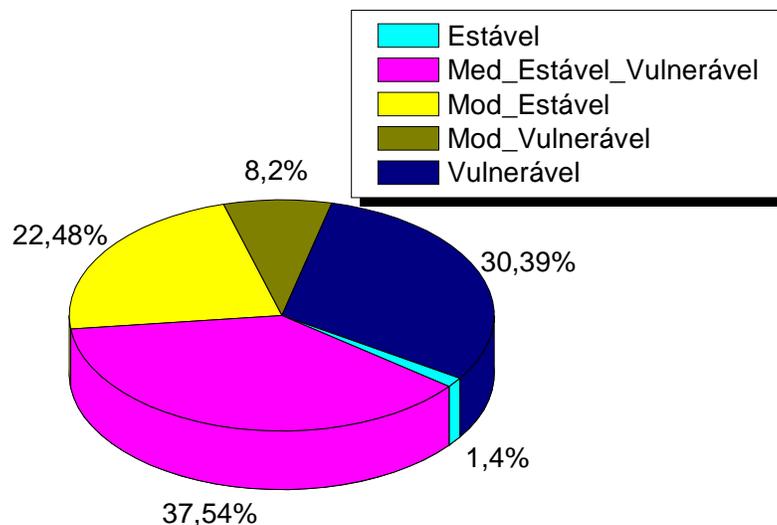


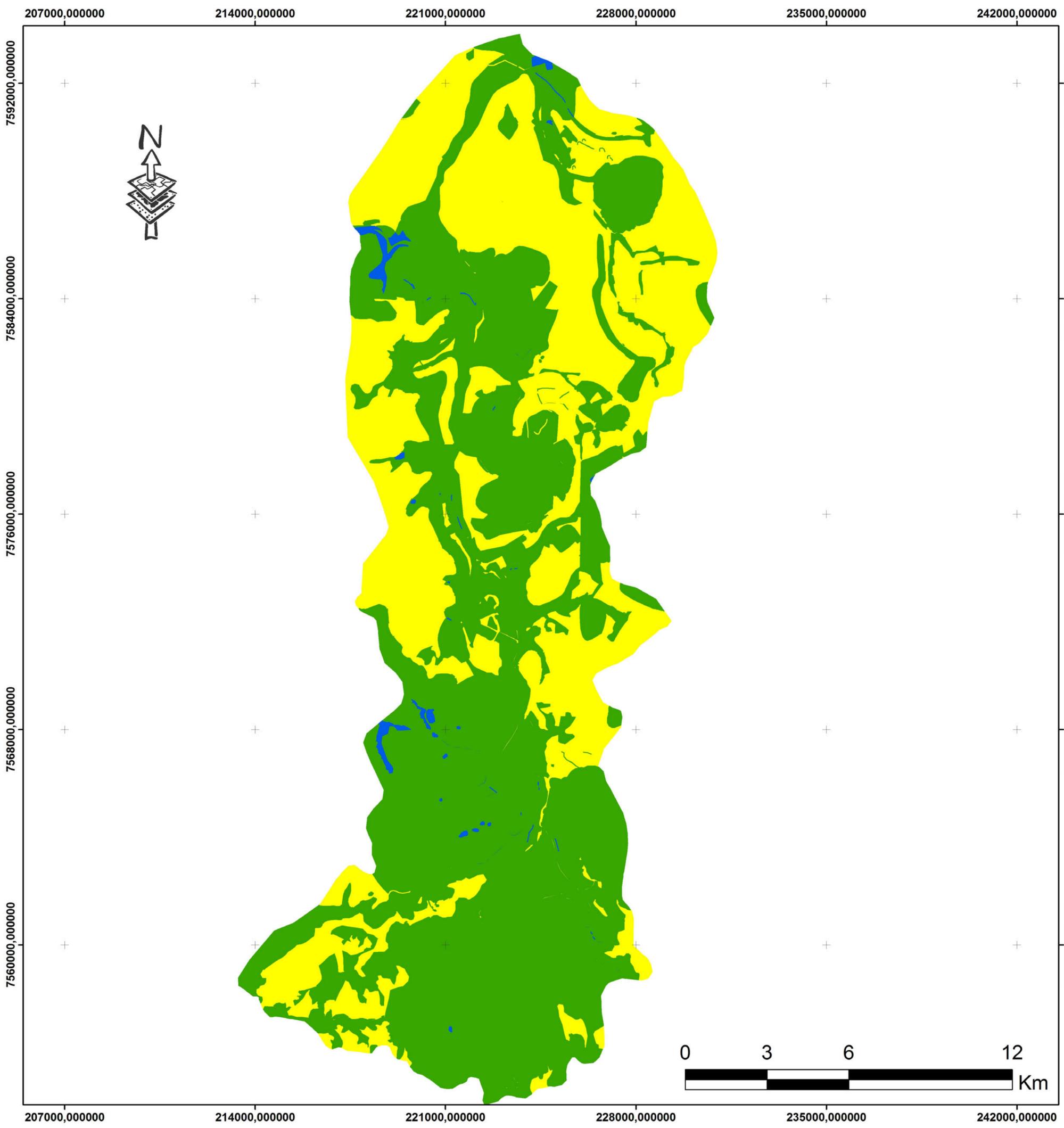
Figura 49- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade ao sub-tema Amplitude Altimétrica

6.6 Vulnerabilidade à Erosão

Com a aplicação da média aritmética dos cinco temas envolvidos na metodologia dentro de cada UTB (Unidade Territorial Básica), recebeu-se um valor final resultante, buscando representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à erosão, conforme mostra a Figura 51 e Figura 50.

O resultado, exposto na Figura 50, foi obtido através do cruzamento das informações de cinco temas, na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano . Os temas utilizados no cruzamento foram: i) geologia, ii) geomorfologia, iii) pedologia, iv) vegetação e uso do solo, bem como v) climatologia, os quais forneceram as classes de vulnerabilidade de i) moderadamente estável e vulnerável , ii) mediamente estável vulnerável, iii) mediamente estável vulnerável, moderadamente vulnerável e estável, iv) vulnerável e estável e v) moderadamente estável, respectivamente. Por meio dos dados obtidos, mostrado na (Figura 50) foi constatado que a vulnerabilidade, na foz da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe mediamente estável vulnerável.

A classe de vulnerabilidade, atribuída nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe med. estável vulnerável e moderadamente vulnerável.



LEGENDA

Vulnerabilidade a Erosão

- Moderadamente Estável Vulnerável
- Moderadamente Estável
- Moderadamente Vulnerável

Sistema de Projeção:
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datun Horizontal: SAD 69
 Fuso 23
 Carta produzida através de dados na escala 1:50000.

Universidade Federal de São Carlos
 Departamento de Engenharia Civil-
 DECiv

**Programa de Pós Graduação em
 Engenharia Urbana**
 Grupo de Geologia e Planejamento do
 Meio Físico

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE A EROSÃO
 DA BACIA HIDROGRÁFICA
 DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO
 (SÃO CARLOS, ANALÂNDIA,DESCALVADO-SP),
 UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.**
 Yanayne Benetti Barbosa, Edson A. Melanda.
 Reinaldo Lorandi (orientador)

Figura: 50
Mapa de Vulnerabilidade a Erosão

A distribuição do percentual de vulnerabilidade à erosão predomina a classe mediamente estável vulnerável contendo uma área de 236,85 Km² correspondente a 59,12 % da área total da bacia. A classe moderadamente estável contém uma área de 2,64 Km² correspondente a 0,66% da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 161,13Km² correspondente a 40,22 % da área total da bacia.

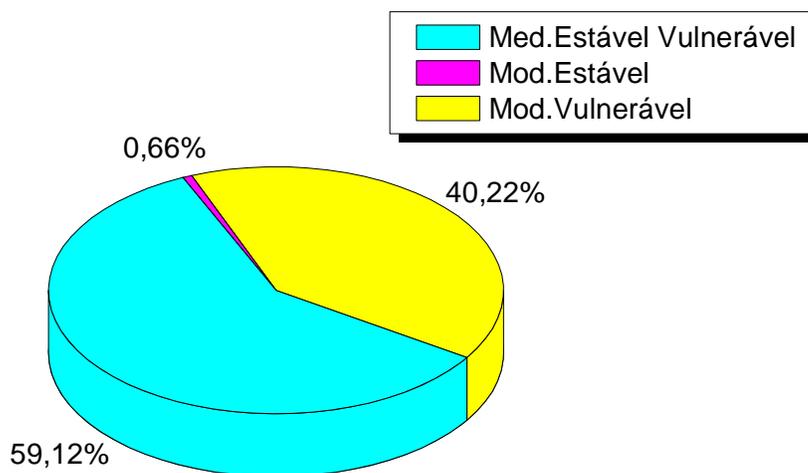


Figura 51- Quantificação da distribuição percentual da vulnerabilidade à erosão.

O resultado observado para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano referente as classes de vulnerabilidade são fruto de uma média aritmética, desta maneira cada tema exerce a mesma influência no resultado final. O presente trabalho é caracterizado como sendo um estudo acadêmico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, na escala de 1:50.000, a utilização dos resultados obtidos como forma de uso da bacia hidrográfica, devem ser realizadas com certas restrições, pois um melhor detalhamento em escala apropriada para cada caso deve ser realizado.

7 Conclusão

O presente estudo sobre vulnerabilidade à erosão na bacia do Pântano apresentou como resultado as classes de vulnerabilidade à erosão dos diversos temas do meio físico, segundo a metodologia de Crepani et al (2001).

Como observado na bacia hidrográfica do Pântano, ocorre a predominância da formação geológica Santa Rita do Passa Quatro, sendo constituída de areia sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, sendo classificada como pertencente à classe vulnerável.

Para o tema solo, os resultados obtidos mostram que há um predomínio da classe medianamente estável vulnerável, como observado no mapa de vulnerabilidade ao tema solo. As áreas com solos vulneráveis (15,14% da área total) e com solo moderadamente vulnerável (19,78% da área total) estão localizadas ao norte da bacia hidrográfica (fz). Essas regiões requerem especial atenção quando o seu uso ser direcionado para atividades agrícolas e pecuárias, pois, como apresentam os menores valores de vulnerabilidade, o uso inadequado dessas regiões pode prejudicar o solo.

As preocupações ambientais referentes ao uso do solo cresceram nas últimas décadas, pois a maioria das interferências antrópicas, quando realizadas de maneira incorreta no manejo do solo, podem acarretar o desequilíbrio ambiental e afetar desta maneira as águas superficiais e subterrâneas, a fauna e a vegetação, ocasionando danos e prejuízos tanto à população local quanto ao ecossistema da região.

Para o tema uso do solo e vegetação, os resultados mostram que os menores valores de vulnerabilidade para esse tema estão localizados nas áreas mais próximas às margens dos rios. As classes encontradas para essas regiões são a estável (0,14% da área total), medianamente estável vulnerável (3,6% da área total) e moderadamente estável (16,56% da área total). A presença da classe vulnerável foi observada na maior parte da bacia (79,69% da área total), localizada geralmente em áreas adjacentes às margens dos rios. Realizando uma análise geral do tema uso do solo e vegetação, fica evidente que na bacia do Ribeirão do Pântano ocorre o predomínio de vegetação antrópica, como cana-de-açúcar e laranja. A pouca

vegetação nativa encontrada na bacia ocorre principalmente nas regiões próximas às margens dos rios.

Analisando-se o tema geomorfologia, foi constatado que existe uma divisão da vulnerabilidade a esse tema na bacia hidrográfica, pois a região norte (foz da bacia) é classificada como sendo medianamente estável vulnerável, a região sul (nascente da bacia), como sendo moderadamente vulnerável e vulnerável, e, por fim, a parte central, localizada entre os extremos norte e sul, como sendo moderadamente vulnerável e apresentando algumas regiões medianamente estáveis vulneráveis. Tais fatos estão correlacionados com a topografia de cada região, pois, na nascente da bacia, (região sul) a topografia é mais elevada e apresenta declividade acentuada e relevo com formações de cuevas, morros e colinas. Esses fatores favorecem a erosão, sendo assim, valores de vulnerabilidade maiores são encontrados nesta região. A foz da bacia hidrográfica (região norte) é formada por planícies e planícies de inundação, caracterizando, desta maneira, um tipo de topografia que contribui de forma discreta para o aumento da erosão. Os menores valores de vulnerabilidade foram encontrados nessa região, como constatado no mapa de vulnerabilidade ao tema geomorfologia. A região compreendida entre os extremos sul e o norte da bacia apresenta topologia intermediária às encontradas na nascente e na foz da bacia, apresentando, desta maneira, valores intermediários de vulnerabilidade.

Na carta de vulnerabilidade a erosão, foram encontradas três classes de vulnerabilidade: i) moderadamente estável, ii) moderadamente vulnerável e iii) medianamente estável vulnerável. Porém, na bacia do Ribeirão do Pântano, ocorre o predomínio de duas classes, a moderadamente estável vulnerável (59,12% da área total) e a moderadamente vulnerável (40,22% da área total). As maiores classes de erosão (classe moderadamente vulnerável) foram constatados nas áreas periféricas às margens dos rios que compõem a bacia hidrográfica do presente trabalho. As áreas que fazem parte das margens dos rios apresentam, em sua totalidade, a classe moderadamente estável vulnerável. O solo nas regiões próximas aos rios apresenta um índice menor de erosão quando comparado ao solo das regiões mais distantes das margens dos mesmos. A classe moderadamente estável (0,66% da área total) ocorre, na maioria dos casos, em algumas nascentes dos rios que compõem a bacia hidrográfica.

A utilização dos resultados deste mapeamento traz subsídios para as novas atitudes e suporte à gestão do meio físico, proporcionando o desenvolvimento

regional adequado, de modo a evitar a ocorrência de erosão nas áreas propícias a ela. Os resultados alcançados no presente trabalho mostraram que as técnicas de geoprocessamento são muito eficiente no planejamento ambiental. A adoção de tecnologias novas, como o uso de GIS em análises integradas, possibilita a formação de uma base de dados com informações sobre o meio natural.

Este estudo forneceu informações na escala 1:50.000 o qual merece maior detalhamento e verificação em campo, caso o interesse seja utilizá-lo na realização de novos empreendimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano. O principal resultado deste estudo forneceu, de acordo com a metodologia utilizada, três classes de vulnerabilidade, mas nos mapas intermediários foram encontradas outras classes, como a classe vulnerável, mostrando desta maneira que além dos resultados principais os resultados intermediários também devem ser levados em consideração.

8 Referências

ABREU A. E. S. Mapeamento geotécnico para gestão municipal -Abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em analândia (sp). Dissertação (mestrado em geotecnia)- Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo São Carlos. 2007. 217p.

BAHIA, V.G.; CURi, D.N.; MARQUES,J.J.E.S.M. Fundamentos de erosão dos solos. **Informe Agropecuário: Conservação do solo e meio ambiente**, EPAMIG, v. 6, n. 76, 1992.

BATISTA, P. **Processos erosivos na área de expansão urbana de Passos - MG**:subsídios para a elaboração de uma carta de susceptibilidade à erosão. Passos: Universidade Federal do Estado de Minas Gerais, 2003. Monografia apresentada, como parte dos requisitos para obtenção do título de graduado em Engenharia Civil, 2003. 71 p.

BARTORELLI, A.; HARALY, I.N. Geologia do Brasil. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.57-67.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Editora Ícone 1999. 335 p.

Barbosa, Y. B; Lorandi, L. Estudo da Vulnerabilidade da Bacia do Ribeirão do Pântano: ênfase ao tema dimensão interfluvial. IN: II Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana,2009a. Universidade Estadual de Maringa. **Anais**. Maringa. 2009a.p.1-10.

Barbosa, Y. B; Lorandi, L. Estudo da Vulnerabilidade da Bacia do Ribeirão do Pântano: ênfase ao tema geologia. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM, 2009b. Universidade Federal de São Carlos. **Anais**. São Carlos. 2009b. 15p.

BARRO, M. **Projeto Maria de Barro** Disponível em: <<http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=obras>> Acesso em: 29 jan.2010.

BIBLIOTECA VIRTUAL DE DADOS DO CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL - CEAPLA. **Bacia do Rio Piracicaba** Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/biblioteca/index.html>>. Acesso em: 1fev. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Decreto Federal nº 4.340, de 22 de Agosto de 2002. Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 de jan. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Decreto Estadual nº 20.960, de 8 de Junho de 1983. Disponível em :
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 de jan. 2010.

BRASIL. Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Disponível em :
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em :
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 10 de dezembro de 1988. Disponível em :
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 jan.2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Disponível em :
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 jan.2010.

CARVALHO J. C. ;Melo M. T. S. A erosão à luz da legislação ambiental. In: Carvalho et al. (Org.). **Processos erosivos no Centro- Oeste brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. p. 1-37.

CASTRO, I. E. Problema de escala. In: Castro, I. E. et al. **Geografia conceitos e temas**. Rio de Janeiro: ed. Bertrand Brasil,2003.p117-140.

CANÇADO C. J. Zoneamento conceitual da Expansão das atividades Antrópicas relacionado à inundaçã- Estudo De Caso: Bacia do Rio Bonito (SP). Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)-Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e de Saúde da universidade Federal de São Carlos. São Carlos,2003.388p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.V. Conceito Básicos em Ciência da Geoinformação In: (Org.) Câmara G; Davis C.; Monteiro A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de sistema de informação geográfica**. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

CATANOCE, A. **Subsídio à Gestão Ambiental Integrada de Bacia hidrográfica Visando a Sustentabilidade, de Acordo com os Princípios da Agenda 21**. 2002. 271 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Disponível em :

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/leis.asp>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 183p. 1980.

COSTA, N.M.C; SILVA, J. X. Geoprocessamento Aplicado à Criação de Planos de Manejo: O caso do Parque estadual da Pedra Branca- Rio de Janeiro. In:(org) SILVA,X.S; ZAIDAN,R.T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004, p.67-114.

CREPANI, E.; et al **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.113 p. Disponível em: <<http://www.inpe.br/biblioteca/>> Acesso em: 10 jun. 2007.

CREPANI, E. et al **Curso Sensoriamento Remoto Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico**:Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zonemanto Ecológico Econômico da Amazonia Legal : São José dos Campos: INPE, 1996.19p. (Convenio SAE/INPE). UD/82). (INPE-6145-PUD/82) Disponível em: <<http://www.inpe.br/biblioteca/>>. Acesso em: jun 2007.

DESCALVADO. Lei municipal 1.600 em junho de 1996. Disponível em : <<http://www.descalvadocamara.com.br/acervo.asp>> Acesso em: 10 jan. 2010.

DIEDRICHS, L. A. Análise das propriedades físicas de bacias hidrográficas: arroio olarias – Ponta Grossa – PR. **RA'E GA**, Curitiba: UFPR, n. 6, p. 195-215, 2002.

DIEGUES, A. C. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3. ed. São Paulo : Hucitec, 2001.159 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

GOMES, A. R. **Avaliação da Vulnerabilidade á Perda de Solo em Região Semi-Árida Utilizando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento** – Área Piloto De Parnamirim (PE). 2005. p. 165 Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) Instituto nacional de Pesquisas espaciais,São José dos Campos, 2005.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico - Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1997. 652 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE Disponível em : <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 20 DEZ. 2009

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS- INPE Disponível em : <www.dpi.inpe.br> Acesso em: 24 fev. 2010.

LANNA, A. E. I. **Gerenciamento de bacias hidrográficas: aspectos conceituais e metodológicos**. IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. Brasília, 1995. p. 171.

LEITE, S. S. **Análise ambiental da área do morro do cuzuzeiro (Analândia, SP), como subsídio APA planejamento do ambiente local**. 2002. 161p
Dissertação (mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)-Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2002.

LOSSARDO, L. F. **Caracterização Das Potencialidades e Fragilidades Ambientais do Meio Físico De Parte do Município De Santa Rita do Passa Quatro (Sp)**. 2010. 117p. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. ABRH 2001. 536 p.

MORAES, M E. B. **Zoneamento Ambiental De Bacias Hidrográficas: Uma Abordagem Metodológica Aplicada Na Bacia Do Rio Bonito (SP)**. 2003 145p. Tese (Doutoramento em Ecologia e Recursos Naturais) -Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas. Saúde da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2003.

MORAES, M.E. LORANDI, R. Análise do Processo de Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pântano, Revista de **Estudos Geográficos**: Revista Eletrônica de Geografia, 2007 <http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/estgeo>. no prelo.

MORAES, M.E.B.; LORANDI, R. Análise dos elementos da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano (SP) como subsídio ao zoneamento ambiental. **Geografia**, Rio Claro (SP), V.34, set/dez p. 577-594. 2009 .

NEVES, F.F. **Análise prospectiva das áreas de risco à erosão na bacia hidrográfica do rio bonito Descalvado-(SP), potencialmente poluidora por dejetos de granja**. 2005. 200p. Dissertação (mestrado em ciências da engenharia ambiental)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 112p. (Boletim Científico, n.45).

OLIVEIRA, H.H. **Proposta de criação e caracterização da Área de Proteção Ambiental de Descalvado, SP**. São Paulo, 1995. 140p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 1995.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M S. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.;

CAMARGO, A. F. M. (Org.). **Conceitos de bacia hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA: Ed. Editus, 2002. p.17-35.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. Carta de Predisposição a Erosão Acelerada - Área de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil: Metodologia e avaliação dos resultados. IN **GEOTECNIA PORTUGAL (LISBOA)**. 2001. v. 93, p. 33-60.

PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L. V. Carta do Potencial de Risco a Erosão Acelerada por Escoamento Concentrado da folha de Piracicaba-Sp. IN: 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. **Anais**. Poços de Caldas-MG.1993. v2,.245-254.

PEJON A. J. Estudos Geológicos –Geotécnicos Da Região Urbana de Araraquara-SP. Dissertação (Mestrado em geotecnia) Universidade de São Paulo escola de São Carlos .1987. p.117.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.

ROBEIRO, F. L. **Mapa de vulnerabilidade á erosão da Região do Alto Rio Pardo-Pardinho (SP)**. 2002. p. 119. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Botucatu, 2002.

ROSALEN, D. L. **Utilização de um Sistema de Informação Geográfica associado à equação universal de perda de solo no planejamento do ecoturismo no município de Santo Antonio do Pinhal- SP**. 2002 p.292. Tese (Doutor em Ciências Ecologia e Recursos Naturais.)-Programa de Pós graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos.São Carlos.2002.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPES, 1997. Mapas e relatório.

SALES, V. Geografia, sistemas e análise: abordagem critica. **Geosp-Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 16, p. 125-141, 2004.

SALOMÃO, F.X.T; IWASA,O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia**. Curso de Geologia aplicado ao meio ambiente. São Paulo:IPT, 1995. cap.3, p.31-57.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e preservação dos processos erosivos. In: GUERRA,A.J.T. et al. **Erosão e conservação dos solos**. Ed. Bertrand Brasil. 1999. cap. 7,p.229-267.

SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.192 p.

SALES, V. Geografia, sistemas e análise: abordagem critica. **Geosp-Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 16, p. 125-141, 2004.

SANTOS, V.S. **Análise Ambiental Integrada do Componente Solo como Subsídio para Avaliação da Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente**

Amaral em Jaciara – Mato Grosso – Brasil. Tese (Doutorado em Ciências (Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, 2007.

SANTOS, S.M; Pina, M.F; Carvalho, S.A. **Os sistemas de informações geográficas.** In: Org: Carvalho,S.A. Pina,M.F; Santos,S.M; Conceitos Básicos de Sistema de Informação Geográfica e Cartográfica Aplicado à Saúde.organização Pan-americana da saúde-representação do Brasil ministério da saúde. Brasília.2000.p.13-39.

SANTOS, R.F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental:** desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.

SARTORI A; Neto F.L; Genovez A.M. Classificação hidrológica de Solos Brasileiros para estimativa da chuva excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação In: Org: Rigueto A. M. et al **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** V. 10 ,n4 .2005p5-18.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.) **Conceitos de Bacia hidrográficas Teorias e Aplicações** . Ed. Editus Ilhéus,Ba .2002. 293p.

Secretaria do Meio Ambiente- SMA.Disponível em :
<<http://www.ambiente.sp.gov.br/apas/corumbatai.htm>> Acesso em: 10 jan 2010.

Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo –SIGRH.Disponível em:<<http://www.sigrh.sp.gov.br>> . Acesso em: 10 jan 2009

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo –Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata** Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo,2001.

SÃO PAULO (Estado) Ministério do Meio Ambiente Decreto Estadual nº 26.882,de 11 de março de 1987 Disponível em :
<<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/190676/decreto-26882-87-sao-paulo-sp>>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

SOUSA, C. J.S. Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio. 1999. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Ministério da ciência e tecnologia. São José dos Campos,1999.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

TORRESAN, F. E. **Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de descaldado e analândia** . Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)-

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. Doutor. São Carlos. 2005

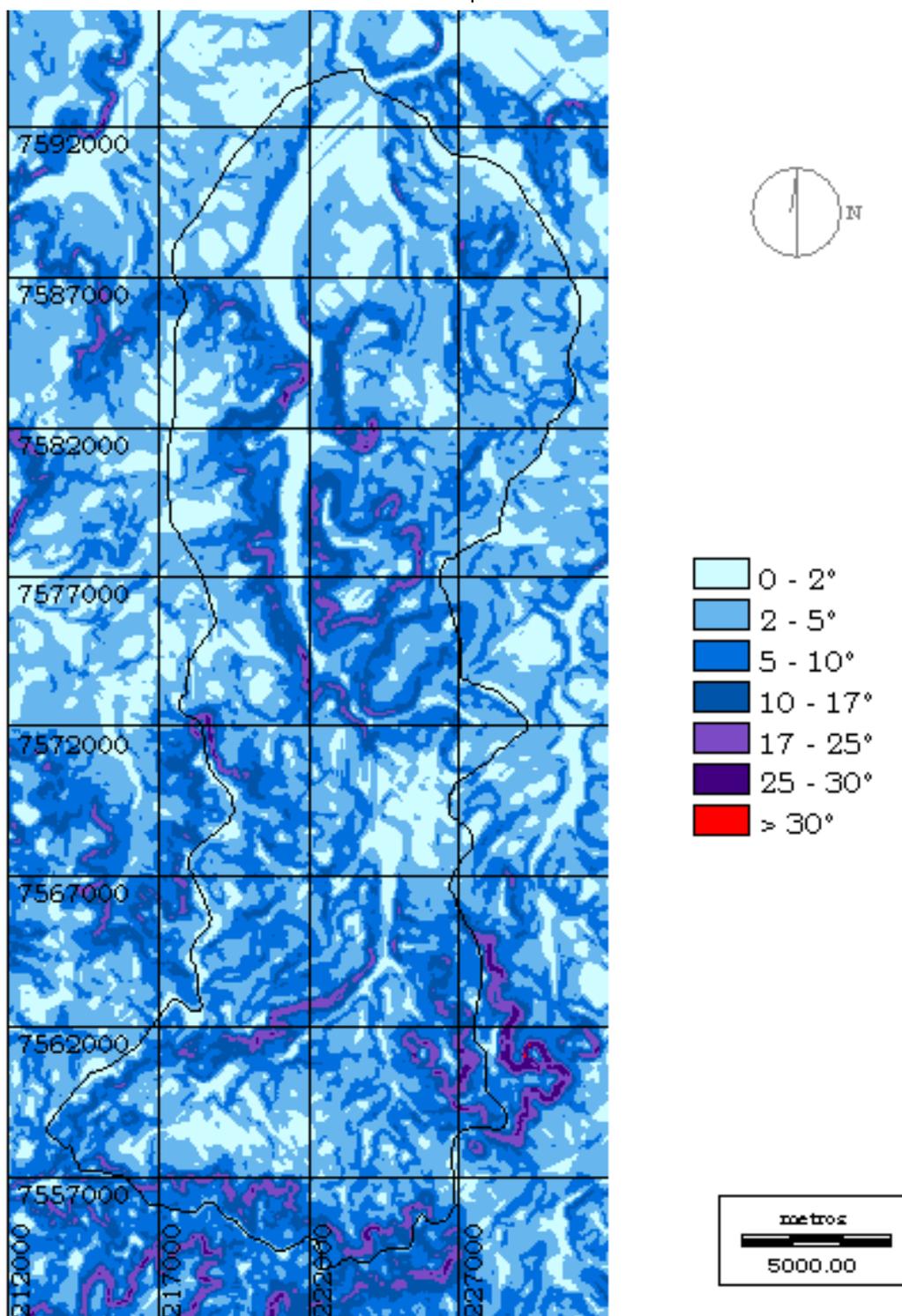
TOREZAN, F. E. Sistema de manejo ambiental na mineração: um estudo de caso na bacia do Rio Bonito (SP). São Carlos, 2000. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas e da Saúde), Universidade Federal de São Carlos, 2000.

TROPNAIR, H. Geossistemas: enfoque de integração. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 2, n. 2-3, p. 30-40, maio./dez. 2000.

ZIOLKOWSKI, J.C.; SILVEIRA, M.M.; GARNÉS, S.J.A.(1998). Erosão urbana-estudo de casos. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. XI., Brasília, 1998. **Anais**. Vol.1, p.589-596.

9 Anexos

Anexo 1- Mapa de declividade



Fonte: Moraes e Lorandi (2009)

Anexo 2- Escala de vulnerabilidade / estabilidade para as diferentes formações vegetais e uso antropicos.

ECOSSISTEMA	LEGENDA		VULN.
	ATUAL	ANTERIOR	
Floresta Ombrófila Densa	D		1,0
Aluvial	Da	Floresta Densa, planície aluvial (Fdp) Floresta Densa, planície aluvial, periodicamente inundada(Fdp) Floresta Densa, plan. aluvial permanentemente inundada (Fdg) Flor. Ombrófila Densa, aluvial, (Da)	1,0
-	-	Flor. Ombrófila Densa, aluvial, dossel emergente (Dae)	1,0
		Floresta Densa dos terraços (Fdc) Floresta Densa das áreas sedimentares - platô (Fde) Floresta Densa das áreas sedimentares - alto platô (Fde) Floresta Densa, relevo aplainado (Fda) Floresta Densa, relevo dissecado (Fdn)	1,0
Terras Baixas	Db	Floresta Densa, Terras baixas, relevo ondulado (Fdo) Floresta Ombrófila Densa, Terras baixas (Db) Floresta Densa, Terras baixas, platôs (Fdb)	1,0
Submontana	Ds	Floresta Densa, Submontana, Platô (Fdr) Floresta Densa, Submontana, relevo aplainado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, relevo aplainado (Fdn) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdn) Floresta Densa, Submontana, relevo ondulado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdi) Floresta Densa, Submontana, acidentado (Fdt) Floresta Densa, Submontana, relevo acidentado (Fdt) Floresta Densa, Submontana, relevo ondulado. (Fds) Floresta Densa, Submontana, relevo dissecado (Fdu) Floresta Ombrófila Densa, submontana (Ds) Floresta Densa, Submontana, baixas cadeias de montanhas (Fdt)	1,0
Dossel emergente	Dse	Floresta Ombrófila Densa, submontana, dossel emergente (Dse)	1,0
Dossel uniforme	Dsu	Floresta Ombrófila Densa, submontana, dossel uniforme (Dsu)	1,0
Montana	Dm	Floresta Densa, Montana (Fdm) Floresta Densa, Montana, relevo dissecado(Fdm) Floresta Ombrófila Densa Montana (Dm) Floresta Densa, Montana (Fbm) Floresta Densa, Montana, relevo dissecado	1,0

		(Fba)	
Altomontana	DI	Flor. Ombróf. Densa Alto-Montana (DI)	1,0
Com dossel uniforme	Dlu		1,0
Floresta Ombrófila Aberta	A		1,2
-	-	Floresta Babaçual (Fsb) Floresta Aberta, relevo dissecado (Fan)	
-	-	Floresta Aberta, Aluvial, periodicamente inundada (Fap) Floresta Aberta, Aluvial (Fap) Floresta Aberta, Aluvial, permanentemente inundada (Fag) Floresta Aberta, Aluvial, planície (Fag) Floresta Aberta, terraço aluvial (Fac)	1,2
-	-	Floresta Aberta Mista (Fam) Floresta Aberta Mista (Fal) Floresta Aberta, com palmeiras (Fam) Floresta Aberta latifoliada (Fal) Floresta Aberta sem palmeiras (Fam) Floresta Aberta com palmeiras (Fal) Floresta Aberta superfície aplainada (Fal)	1,2
Terras Baixas	Ab	Floresta Aberta, Terras baixas, platô (Fab) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo tabular (Fab) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo dissecado (Faa) Floresta Aberta, Terras baixas, relevo ondulado (Fao) Floresta Aberta, Terras Baixas, relevo ondulado (Fas)	1,2
Com Palmeiras	Abp	Floresta Ombrófila Aberta, terras baixas, com palmeiras (Abc)	1,2
Com Cipó	Abc	Floresta Ombrófila Aberta, terras baixas, com cipós (Abp)	1,2
Submontana	As	Floresta Aberta, submontana, relevo dissecado (Fan) Floresta Aberta, submontana, relevo dissecado, com palmeiras (Fam) Floresta Aberta, Submontana, Platô (Far) Floresta Aberta, Submontana, relevo dissecado (Fau) Floresta Aberta, Submontana, relevo aplainado (Fai) Floresta Aberta, Submontana, relevo ondulado (Fai) Floresta Aberta, Submontana, relevo dissecado (Fan) Floresta Aberta, Submontana, relevo ondulado (Fas)	1,2
Com Palmeiras	Asp	Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com palmeiras (Asp)	1,2
Com Cipó	Asc	Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com cipós (Asc)	1,2
Com Bambu	Asb	Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com bambus (Asb)	1,2
Com Sororoca	Ass	Floresta Ombrófila Aberta, submontana, com sororoca (Ass)	1,2
Montana	Am		1,2

Com Cipó	Amc		1,2
Floresta Ombrófila Mista	M		1,3
Aluvial	Ma		1,3
Submontana	Ms	Floresta Ombrófila Mista Submontana (Ms)	1,3
Montana	Mm	Floresta Ombrófila Mista Montana (Mm)	1,3
Alto-montana	MI	Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (MI)	1,3
Floresta Estacional Semidecidual	F		1,6
-		Floresta Semidecidual, relevo aplainado (Fsa) Floresta Semidecidual, baixas cadeias de montanhas (Fsd)	1,6
Aluvial	Fa	Flor. Estacional Semidecidual, aluvial (Fa)	1,6
Aluvial	Fa	Flor. Estacional Semidecidual, aluvial (Fa)	1,6
Dossel emergente	Fae	Flor. Estacional Semidecidual, aluvial, dossel emergente (Fae)	1,6
Terras Baixas	Fb	Flor. Estac. Semidec., terras baixas (Fb)	1,6
Dossel uniforme	Fbu		1,6
Dossel emergente	Fbe	Flor. Estacional Semidecidual, terras baixas, dossel emerg. (Fbe)	1,6
Submontana	Fs	Floresta Semidecidual, Submontana, relevo dissecado (Fsn) Floresta Semidecidual, relevo aplainado (Fsa) Floresta Estacional Semidecidual, submontana (Fs)	1,6
Dossel uniforme	Fsu		1,6
Dossel emergente	Fse	Flor. Estacional Semidecidual, submontana, dossel emerg. (Fse)	1,6
Montana	Fm	Floresta Estacional Semidecidual, Montana (Fm)	1,6
Dossel uniforme	Fmu		1,6
Dossel emergente	Fma		1,6
Floresta Estacional Decidual	C		2,2
		Floresta Decidual latifoliada (Fla) Floresta Decidual mista (Flm) Floresta Decidual mista (Fnm) Floresta Decidual nanofoliada (Fna)	2,2
Aluvial	Ca	Floresta Estacional Decidual Aluvial (Ca)	2,2
Dossel uniforme	Cau		2,2
Terras Baixas	Cb	Flor. Estac. Decidual, terras baixas (Cb)	2,2
Dossel uniforme	Cbu		2,2
Dossel emergente	Cbe	Flor. Estac. Decidual, terras baixas, dossel emergente (Cbe)	2,2
Submontana	Cs	Floresta Estacional Decidual, submontana (Cs)	2,2
Dossel uniforme	Csu		2,2
Dossel emergente	Cse	Flor. Estacional Decidual, submontana, dossel emergente (Cse)	2,2
Montana	Cm	Floresta Estacional Decidual, montana (Cm)	2,2
Dossel uniforme	Cmu		2,2
Dossel emergente	Cme		2,2
Campinarana	L		
		Formação Edáfica Arbórea densa (Pcv) Formação Edáfica Arbórea densa e depressões (Pcv) Floresta Edáfica Depressão, arbórea densa (Cad) Formação Edáfica Arbórea densa planície (Cap)	

Florestada	Ld	Formação Edáfica Arbórea densa terraços. (Cac) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo tabular (Cab) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo ondulado (Cao) Formação Edáfica Arbórea densa, terraços e depressões (Pcr) Formação Edáfica Arbórea densa, relevo residual (Pcr) Campinarana arbórea densa, relevo dissecado (Caa) Campinarana arbórea aberta vale (Cbv)	1,4
Sem Palmeiras	Lds		1,4
Com palmeiras	Ldp		1,4
Arborizada	La	Formação Edáfica Arbórea aberta (Pcd) Formação Edáfica Arbórea aberta, depressões (Cbd) Campinarana Arbórea aberta, planície (Cbp) Campinarana Arbórea aberta, terraço (Cat) Campinarana arbórea aberta, relevo dissecado (Cba) Campinarana arbórea aberta, relevo ondulado (Cbo)	1,9
-		Campinarana Arbustiva, planície (Cup) Campinarana Arbustiva, terraços (Cus) Campinarana Depressão, Arbustiva (Cud) Campinarana Arbustiva relevo tabular (Cub)	2,3
Sem Palmeiras	Las		2,3
Com palmeiras	Lap		2,3
Gramíneo-Lenhosa	Lg	Campinarana Gramíneo-Lenhosa, depressão (Cgl)	2,7
Sem Palmeiras	Lgs		2,7
Com palmeiras	Lgp		2,7
Savana	S		
Florestada	Sd	Cerradão - Sc Savana Arbórea densa (Sad) Savana arbórea densa (Sd)	1,7
Arborizada	Sa	Campo cerrado - Sr Savana Arbórea aberta (Saa) Savana Arbórea aberta (Sa)	2,1
Sem flor.-de-galeria	Sas	Savana arbórea aberta sem floresta de galeria (Sas)	2,1
Com flor.-de-galeria	Saf	Savana arbórea aberta com floresta de galeria (Saf)	2,1
Parque	Sp	Cerrado parque (Sp) Savana parque (Sp)	2,5
Sem flor.-de-galeria	Sps	Savana parque sem floresta de galeria (Sps)	2,5
Com flor.-de-galeria	Spf	Savana parque com floresta de galeria (Spf)	2,5
Gramíneo-Lenhosa	Sg	Savana gramíneo-lenhosa (Sm) Savana gramíneo-lenhosa (Sg) Campo (Sm)	2,7
Sem flor.-de-galeria	Sgs	Savana gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (Sgs)	2,7
Com flor.-de-galeria	Sgf	Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Sgf)	2,7
Savana estépica	T		

Florestada	Td	Savana Estépica Arbórea densa (Cd) Savana Estépica arbórea densa (Td)	1,7
Arborizada	Ta	Savana Estépica Arbórea aberta (Ca)	2,1
Sem flor.-de-galeria	Tas	Savana Estépica Arborizada sem floresta de galeria (Tas)	2,1
Com flor.-de-galeria	Taf	Savana Estépica Arborizada com floresta de galeria (Taf)	2,1
Parque	Tp	Savana Estépica parque (Cp)	2,5
Sem flor.-de-galeria	Tps	Savana Estépica Parque sem floresta de galeria (Tps)	2,5
Com flor.-de-galeria	Tpf	Savana Estépica Parque com floresta de galeria (Tpf)	2,5
Gramíneo-Lenhosa	Tg	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa (Tg)	2,7
Sem flor.-de-galeria	Tgs	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (Tgs)	2,7
Com flor.-de-galeria	Tgf	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (Tgf)	2,7
Estepe	E		
-		Caatinga arbórea (Ea)	1,7
		Caatinga arbustiva (Eu)	2,3
		Estepe arbórea densa, sem palmeiras (Eds)	1,7
		Estepe arbórea densa, com palmeiras (Edp)	1,7
		Estepe arbórea aberta, sem palmeiras (Eas)	2,1
		Estepe arbórea aberta, com palmeiras (Eap)	2,1
Arborizada	Ea	Estepe arbórea aberta (Ea)	2,1
Arborizada sem floresta-de-galeria	Eas		2,1
Arborizada com floresta-de-galeria	Eaf		2,1
Parque	Ep	Caatinga parque (Ep) Estepe parque (Ep)	2,5
-		Estepe parque sem palmeiras (Eps)	2,5
-		Estepe parque com palmeiras (Epp)	2,5
Sem flor.-de-galeria	Eps		2,5
Com flor.-de-galeria	Epf		2,5
Gramíneo-Lenhosa	Eg	Estepe Gramíneo-Lenhosa (Eg)	2,7
Sem flor.-de-galeria	Egs		2,7
Com flor.-de-galeria	Egf	Estepe Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria(Eg)	2,7
Veg. c/ infl. marinha (Restinga)	Pm	Formação Pioneira -Restinga -Pr Formação Pioneira,-influência marinha, restinga (Pm)	-
Arbórea (pont. rochoso)	Pma	Formação Pioneira,-influência marinha, restinga, arbórea (Pma)	1,4
Arbustiva (das dunas)	Pmb	Form. Pioneira, influência marinha, restinga, arbustiva (Pmb)	2,3
Herbácea (das praias)	Pmh	Form. Pioneira, influência marinha, restinga, herbácea (Pmh)	2,7
Veg. com infl. fluvio-marinha	Pf		
Arbórea (Maguezal)	Pfm	Formação Pioneira-Manguezal -(Pm) Formação Pioneira, influência marinha, mangue, arbórea (Pfm)	1,4
-	-	Formação Pioneira, influência fluvio-marinha, arbórea (Pfm)	1,4
Herbácea (Plan. mar.)	Pfh	Formação Pioneira, influência fluvio-marinha, herbácea (Pfh)	2,7

-	-	Formação Pioneira, influência fluviomarinha, herbácea, sem palmeiras (Phs)	2,7
Veg. c/ infl. fluv. e/ou lacustre	Pa		
Buritizal	Pab	Formação Pioneira, influência fluvial buritizal (Pfb)	1,8
		Formação Pioneira Arbórea com palmeiras (Pp) Formação Pioneira Arbórea sem palmeiras (Pl) Formação Edáfica Palustre Depressão Arbórea (Pap) Formação Pioneira Arbórea planície peirod. inundada (Pap) Formação Pioneira arbórea planície periodicam. inundada (Pap) Formação Pioneira Arbórea, periodicamente inundada (Pap) Formação Pion. arbórea, áreas permanentemente inundada (Pal)	1,4
Arbustiva	Paa	Formação Pioneira -arbustiva (Pa) Formação Edáfica Palustre Depressão Arbustiva (Pau) Formação Pioneira Arbustiva, periodicamente inundada (Pau) Formação Edáfica arbustiva permanente inundada (Pae) Formação Pioneira arbustiva depressões perman. inundada (Pae) Formação Pioneira, arbustiva, terraços (Pac) For. Pion. infl. Fluvial, arbustiva com palmeiras (Pap)	2,3
Sem palmeiras	Pas	Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, sem palmeiras (Pfs) Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, sem palmeiras (Pas)	2,3
Com palmeiras	Pap	Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, com palmeiras (Pfs) Form. Pioneira, influência fluvial, arbustiva, com palmeiras (Pap)	2,3
Herbácea	Ph	Formação Pioneira -campestre -Pc Formação Edáfica Palustre Depressão gramínea (Pag) Formação Pioneira Graminosa, permanentemente inudada (Pag) Formação Pioneira Graminosa, depressão, permanentemente inudada (Pag) Formação Pioneira influência fluvial graminóide (Phf)	2,7
Sem palmeiras	Phs	Form. Pioneira influên. fluvial, herbácea, sem palmeiras (Phs)	2,7
Com palmeiras	Php		2,7
Refúgio montano	rm	Refúgio montano (rm)	
Arbustivos	rmb	Veg. Escleróf.-submediterrâneo (Vm) Refugio Carrasco (Cr) Refúgio arbustivo (Rta) Refúgio Rosário Secundária latiliada - (RFsl)	2,3
herbáceo	rmh	Refúgio Tingua-Secundária mista -Tfsm Refúgio montano herbáceo (rmh)	2,7
Refúgio alto-montano	rl	Refúgio Alto-Montano (rl)	
arbustivos	rlb	Refúgio arbustivo (Va) Refúgio Alto-Montano, arbustivo (rlb)	2,3
herbáceo	rlh	Refúgio herbáceo (Ph) Refúgio graminoso (Pg) Refúgio Alto-Montano herbáceo (rlh) Refúgio Alto-Montano herbáceo (rah)	2,7
Vegetação secundária	Vs		*

sem palmeiras	Vss	Secundária latifoliada (Fsl) Vegetação secundária sem palmeiras (Vss)	*
com palmeiras	Vsp	Secundária mista (Fsm) Vegetação secundária com palmeiras (Vsp)	*

Fonte: crepani et al 2001