UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus de Presidente Prudente

Edi Carlos Ferreira

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO AGUAPEÍ (UGRHI 20), NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

Dissertação de Mestrado

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus de Presidente Prudente

Edi Carlos Ferreira

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO AGUAPEÍ (UGRHI 20), NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

MAPPING AND ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY OF PLUVIAL EROSION IN RIVER AGUAPEÍ WATER RESOURCE MANAGEMENT UNIT (UGRHI 20), SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus de Presidente Prudente, para obtenção do Título de Mestre em Geografia. Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico.

Orientadora: Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia.

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MAPEAMENTO E ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO AGUAPEÍ (UGRHI 20), NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

AUTOR: EDI CARLOS FERREIRA

ORIENTADORA: ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Profa. Dra. JULIANA DE PAULA SILVA
Geografia / Universidade Estadual de Maringá

Presidente Prudente, 11 de outubro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

F383m

Ferreira, Edi Carlos
Mapeamento e análise da suscetibilidade à erosão pluvial na unidade de gerenciamento dos recursos hídricos do rio Aguapeí (UGRHI 20), no Estado de São Paulo, Brasil / Edi Carlos Ferreira. -- Presidente Prudente, 2019
105 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia

1. Planejamento ambiental. 2. Erosão. 3. Fragilidade ambiental. 4. Equação universal de perdas de solo. 5. UGRHI-20. I. Título.

Dedicatória

À minha esposa Elaine e minhas filhas Isabela e Fernanda pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

À minha mãe Carmelita (in memorian), que dignamente me apresentou à importância da família e ao caminho da honestidade e persistência.

Agradecimentos

Em especial à Professora Dra. Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de alguém que demonstrou muita sabedoria e serenidade. Obrigado por cada auxílio nos momentos de dúvida. Muito obrigado pela paciência. Para mim, um espelho de professor e caráter que aprendi e usarei na minha prática profissional.

Aos professores Dr. Paulo Cesar Rocha e Dra. Renata Ribeiro de Araújo do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP Campus de Presidente Prudente) que ao aceitarem compor a banca no exame de qualificação contribuíram com muitas informações importantes para melhorar essa dissertação.

Novamente ao Dr. Paulo Cesar Rocha que aceitou também compor a banca de defesa.

A professora Dra. Juliana de Paula Silva do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá que aceitou prontamente o convite para compor a banca de defesa.

Ao funcionário Anderson da Seção de Pós que sempre com muita paciência tirava todas as dúvidas da parte burocrática

Aos demais Professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Geografia da Unesp – Campus de Presidente Prudente que contribuem para manter um curso de excelência por causa do ótimo trabalho que realizam.

Aos meus colegas de Mestrado que participaram comigo das disciplinas, discussões, trabalhos de campos e trabalhos em grupos o meu muito obrigado pelas trocas de experiências com essa galera que deixará muitas saudades.

Como é que se pode comprar ou vender o céu, o calor da terra?

... a terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra.

“O que ocorrer com a terra, recairá sobre os filhos da terra.”

O homem não tramou o tecido da vida; ele simplesmente é um dos seus fios.

Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo.

“O nosso Deus é o mesmo Deus, esta terra é por Ele amada”

Carta do Chefe Seattle, 1854.

RESUMO

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO AGUAPEÍ (UGRHI 20), NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a suscetibilidade aos processos erosivos laminares e lineares, identificando áreas mais críticas e seus impactos sobre os recursos hídricos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí (UGRHI-20), localizada no oeste do Estado de São Paulo. Para determinar a suscetibilidade à erosão laminar utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1976). Para a suscetibilidade à erosão linear utilizou-se a metodologia de Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1994). Os resultados mostraram que na UGRHI-20, as estimativas de perda de solo por erosão laminar estão muito acima do recomendado pela FAO (1965) e por Wischmeier & Smith (1978), pois 73% da área se enquadra na classe indicativa “Alta” com valores entre 50 – 200 $t.ha^{-1}$ ano^{-1}. Em relação à erosão linear, a condição da UGRHI-20 é considerada crítica, pois apresenta 57% de sua área nível de fragilidade emergente forte. Diante de tais resultados, espera-se que esse trabalho possa subsidiar o planejamento ambiental desta bacia hidrográfica pelo poder público e principalmente por órgãos gestores. Para isso, serão entregues exemplares desse trabalho em meio digital para o Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP).

Palavras-chave: Planejamento Ambiental; Erosão; Equação Universal de Perdas de Solo (USLE); Fragilidade Ambiental; UGRHI-20.

ABSTRACT

MAPPING AND ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY OF PLUVIAL EROSION IN RIVER AGUAPEÍ WATER RESOURCE MANAGEMENT UNIT (UGRHI 20), SÃO PAULO STATE, BRAZIL

The present work has as main objective to analyze the susceptibility to laminar and linear erosive processes, identifying the most critical areas and their impacts on water resources at the Aguapeí River Basin Water Resources Management Unit (UGRHI 20), located in the west of São Paulo. To determine susceptibility to laminar erosion, The Universal Soil Loss Equation (USLE) developed by Wischmeier and Smith (1976) was used. For susceptibility to linear erosion, the Environmental Fragility methodology proposed by Ross (1994) was used. The results showed that in the UGRHI-20 laminar erosion soil loss estimates are far above those recommended by FAO (1965) and Wischmeier & Smith (1978), as 73% of the area falls under the "High" indicative class with values between 50 – 200 $t.ha^{-1}year^{-1}$. Regarding linear erosion, the condition of UGRHI-20 is considered critical, as it presents 57% of its area strong emerging fragility level. Given these results, it is hoped that this work can subsidize the environmental planning of this watershed by the government and especially by management agencies. To this end, copies of this work will be delivered digitally to the Aguapeí and Peixe River Watershed Committee (CBH-AP).

Keywords: Environmental Planning; Erosion; Universal Soil Loss Equation (USLE); Environmental fragility; UGRHI-20.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da UGRHI - 20 no Estado de São Paulo. 15
Figura 2- Municípios pertencentes à UGRHI-20. 16
Figura 3 - Sub-bacias e municípios da UGRHI-20. 18
Figura 4 – Fases da erosão hídrica 30
Figura 5 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. 34
Figura 6 - Bacia hidrográfica – reconhecimento do ambiente físico. 36
Figura 7 - Interações entre gestão, planejamento e gerenciamento ambiental. 37
Figura 8 - Exemplo de estrutura geral das fases de um planejamento ambiental. 41
Figura 9 - Esquema para gerar mapa de Fragilidade Ambiental 51
Figura 10 - Esquema para produzir o mapa Fragilidade Potencial 51
Figura 11 - Esquema para gerar mapa de Fragilidade Emergente 52
Figura 12 – Esquema para gerar mapa Síntese de Suscetibilidade à erosão Pluvial 53
Figura 13 - Mapa Topográfico da UGRHI – 20 56
Figura 14 - Mapa Hipsométrico da UGRHI – 20 57
Figura 15 - Mapa de Relevo Sombreado da UGRHI – 20 59
Figura 16 - Mapa Hidrográfico da UGRHI – 20 61
Figura 17 - Mapa Clinográfico da UGRHI – 20 63
Figura 18 - Mapa de Curvatura da UGRHI – 20 65
Figura 19 - Mapa Pedológico da UGRHI – 20 67
Figura 20 - Mapa de processos erosivos das UGRHIs 20 e 21 68
Figura 21 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, para 1995, 2000 e 2013 – em hectares por município. Fonte: PAM/IBGE (2015). 72
Figura 22 - Uso e Ocupação do Solo da UGRHI – 20 74
Figura 23 – Mapa de Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20 80
Figura 24 - Mapa de perda de solo por sub-bacia na UGRHI - 20 82
Figura 26 – Mapa de Sedimentos exportados na UGRHI - 20. 84
Figura 27 – Mapa de Fragilidade do Relevo da UGRHI - 20 86
Figura 28 – Mapa de Fragilidade Potencial da UGRHI - 20 88
Figura 29 – Mapa de Fragilidade Emergente da UGRHI - 20 90
Figura 30 – Mapa de Suscetibilidade à erosão pluvial na UGRHI - 20. 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de erodibilidade dos tipos de solo. 49
Tabela 2 - Valores das variáveis C e P. 49
Tabela 3 - Processos erosivos por município da UGRHI-20. 69
Tabela 4 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual 70
Tabela 5 - Assentamentos rurais na UGRHI 20. 78
Tabela 6 - Classes indicativas de perda de solo na UGRHI – 20. 79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Municípios com Sede na UGRHI-20. 17
Quadro 2 - Municípios com área contida na Bacia Hidrográfica Aguapeí. 18
Quadro 3 - Sub-bacias e municípios da UGRHI-20. 19
Quadro 4 - Histórico planejamento ambiental. 38
Quadro 5 - Diferenças entre Tricart (1977) e Ross (1994). 45
Quadro 6 - Valores atribuídos para Mapa Clinográfico. 50
Quadro 7 - Valores atribuídos para Mapa de Curvatura do Terreno. 50
Quadro 8 - Nível de fragilidade para os tipos de solo 52
Quadro 9 - Valores atribuídos para Uso e Cobertura da Terra. 53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise dos dados Hipsométricos da UGRHI – 20. 55
Gráfico 2 - Gráfico de declividades da UGRHI-20. 64
Gráfico 3 - Análise dos dados de curvatura UGRHI – 20. 66
Gráfico 4 - Análise dos dados Pedológicos da UGRHI – 20. 68
Gráfico 5 - Distribuição das classes de uso e ocupação da terra da UGRHI – 20. 75
Gráfico 6 - População total em 2015 nas Sub-bacias da UGRHI-20. 76
Gráfico 7 - Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20. 81
Gráfico 9 - Sedimentos exportados na UGRHI - 20. 83
Gráfico 10 - Distribuição das classes de Fragilidade do Relevo 85
Gráfico 11 - Distribuição das classes de Fragilidade Potencial. 87
Gráfico 12 - Distribuição das classes de Fragilidade Emergente. 89
Gráfico 13 - Comparação dos Níveis de Fragilidade 91
Gráfico 14 - Suscetibilidade à erosão pluvial. 93
Gráfico 15- Comparação entre erosão laminar, erosão linear e erosão pluvial 95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2. OBJETIVOS GERAIS 15

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3. ÁREA DE ESTUDO 16

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20

4.1. Processos erosivos: conceitos e mecanismos 20

4.2. Bacias Hidrográficas e Unidades de Gestão de Recursos Hídricos - UGRHI 31

4.2.1. As Bacias hidrográficas como unidades de Planejamento Ambiental 36

4.3. Planejamento Ambiental 37

4.3.2. Histórico do Planejamento 39

4.4 Modelos preditivos para avaliação de suscetibilidade à erosão 42

4.4.1 – A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) 42

4.4.2 Análise da Fragilidade Ambiental: algumas considerações 44

5. MATERIAIS E MÉTODOS 47

5.1 Levantamento e análise bibliográfica 47

5.2. Elaboração dos mapas para a caracterização do Meio Físico 47

5.3. Elaboração dos Mapas de Perdas de Solo e Sedimentos Exportados 48

5.4. Elaboração dos Mapas de Fragilidade do Relevo, Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente 51

5.5. Elaboração do Mapa Síntese de Susceptibilidade à Erosão Pluvial 54

6. CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI 20 55

6.1 Meio Físico 55

6.2 Uso e Cobertura da Terra 72

6.3. População e crescimento populacional 76

7. EROSÃO LAMINAR NA UGRHI 20 80

7.1. Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20 80

7.2. Perdas de Solo por Sub-bacias na área da UGRHI - 20 82
7.4 Sedimentos Exportados na UGRHI - 20 84
8. FRAGILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES 86
8.1 Fragilidade do Relevo 86
8.2. Fragilidade Potencial 88
8.3. Fragilidade Emergente 90
9. SÍNTESE: SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UGRHI 20 93
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS 97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99

1. INTRODUÇÃO

Verifica-se no mundo inteiro, inúmeros cenários de degradação do ambiente. Essa degradação, na maior parte das vezes, é resultado de usos e ocupações que ocorrem de forma desordenada, resultando em prejuízos não só ao meio físico biótico, mas ao próprio homem. Entre as formas de degradação, destaca-se a perda de solo por erosão, principalmente a erosão hídrica, no meio tropical úmido. Essa erosão acaba causando grandes alterações na paisagem e também prejuízos econômicos e, em casos extremos, como aqueles relacionados aos movimentos gravitacionais de massa, ocasionando grandes desastres com perdas de vidas. Dessa forma, diante do exposto, tenta-se garantir através da legislação ambiental, que possíveis áreas de riscos potenciais, não se transformem em áreas de risco efetivo (MAFFRA e MAZZOLA, 2007).

No Brasil, a erosão hídrica é um dos principais fatores de desgaste e perdas de solos que mais tem contribuído para a improdutividade dos mesmos. Esse processo é facilitado e acelerado pela ação humana em função de práticas inadequadas de uso das terras (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Alvares e Pimenta (1998) destacam os principais fatores que interferem de forma direta nos processos erosivos: a erosividade da chuva, medida principalmente pela sua intensidade; a erodibilidade, que é definida pelas características físicas e químicas do solo; cobertura vegetal, que é medida pela maior ou menor proteção do solo pela vegetação; aspectos do relevo tais como a declividade e comprimento das encostas; e as práticas de conservação e manejo dos solos utilizados no local.

Estima-se que em cerca de 80% da área cultivada no Estado de São Paulo esteja ocorrendo processos erosivos muito além dos limites de tolerância. Isso representa uma perda anual de aproximadamente 200 milhões de toneladas de terra, o que implica em prejuízos econômicos absurdos, podendo ser tanto pela queda da produtividade, perda de sementes e fertilizantes que são carreados juntos com o sedimento e também pela necessidade de se investir cada vez mais na recuperação de solos (LOMBARDI E BERTONI, 1985).

Alterações no uso e cobertura da terra pelo homem geram consequências graves em diversos níveis à integridade dos recursos hídricos. A chegada de material alóctone nos canais fluviais acarreta o assoreamento dos corpos d'água e isso influi diretamente da disponibilidade da água, influenciando tanto na qualidade

quanto na disponibilidade. Também podemos destacar que essas alterações influenciam nas características naturais do perfil ao longo do canal fluvial, resultando em grandes danos aos ecossistemas aquáticos e aos ribeirinhos (MANZIONE, 2015).

A manutenção da vegetação é fundamental para favorecer a infiltração e o armazenamento da água no solo, minimizando o escoamento superficial que é responsável pelos processos erosivos. Nesse aspecto, quando levamos em consideração a bacia hidrográfica, pode-se afirmar que a infiltração e o armazenamento de água no solo são fundamentais para que os cursos de água em períodos de estiagem sejam sempre perenes. Dessa forma, a água permanece no subsolo a qual denominamos água subterrânea e fluirá lentamente até descarregar em corpos d'água na superfície ou ser interceptada pela rede de raízes vegetais ou até mesmo ser extraída em poços subterrâneos pelo homem (MANZIONE, 2015).

Antes que sejam adotadas práticas que conservem os solos, é necessário compreender bem o processo erosivo e conhecer a erosão desde os seus primeiros estágios até culminar na formação de ravinas e boçorocas.

A porção oeste do estado de São Paulo apresenta um quadro bastante crítico em relação à erosão dos solos. De acordo com IPT (2012) a Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos do Rio Aguapeí (UGHRI 20) apresenta criticidade Alta. Diante do exposto, a presente pesquisa apresenta uma análise da UGRHI 20 em relação aos processos erosivos.

2. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo da presente pesquisa é identificar a suscetibilidade da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí (UGRHI 20) face aos processos erosivos laminares e lineares, identificando áreas mais críticas e seus impactos sobre os recursos hídricos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar quantitativamente as perdas de solo por erosão laminar, bem como a carga de sedimentos retidos e exportados que atingem os canais fluviais;

- ✓ Determinar qualitativamente os níveis de Fragilidade Potencial e Emergente face aos processos de erosão linear;
- ✓ Correlacionar os níveis de perdas de solo por erosão laminar e os níveis de fragilidade aos processos erosivos lineares para determinar e espacializar os níveis de suscetibilidade à erosão pluvial.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Unidade de Gerenciamento do rio Aguapeí - UGRHI-20 está localizada no oeste do Estado de São Paulo (Figura 1).

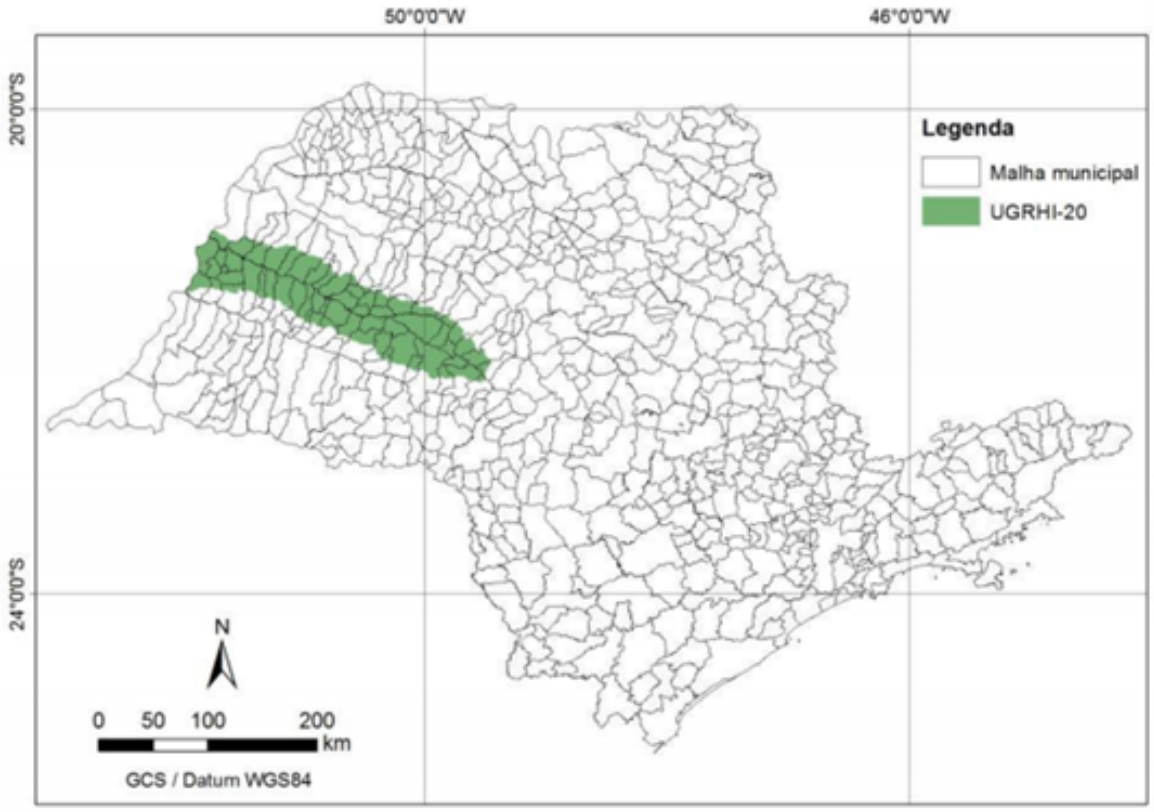


Figura 1- Localização da UGRHI - 20 no Estado de São Paulo.
Fonte: CBH-AP (2016).

Agrega os tributários das margens direita e esquerda do rio Aguapeí e inclui alguns afluentes da margem esquerda do rio Paraná, drenando uma área de 13.196 km^2. Os principais rios desta UGRHI são os rios Paraná, Aguapeí e Tibiriça. (CBH-AP, 2016). Limita-se ao Sul, com a Bacia do Rio do Peixe, ao Norte com a Bacia do Rio Tietê, a Leste seu limite é a Serra dos Agudos e a Oeste com o Estado do Mato

Grosso do Sul, tendo como divisa o Rio Paraná. Compõe essa bacia o Rio Feio, que nasce entre as cidades de Gália e Presidente Alves e o Rio Tibiriça, que nasce em Garça. (CBH-AP, 2016-2017).

A bacia hidrográfica possui uma extensão aproximada de 420 km até sua foz no Rio Paraná, a uma altitude de 260 metros, entre o Porto Labirinto e o Porto Independência.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual 9.034, de 27 de dezembro de 1994), que estabeleceu a divisão hidrográfica do Estado, a UGRHI 20 compreende territórios de 32 municípios que possuem suas sedes na área, conforme se apresenta Figura 2 e no Quadro 1. Além desses, existem outros 30 municípios, com sede fora da área da UGRHI-20, mas com parte de seu território inserido na Unidade, conforme o Quadro 2.

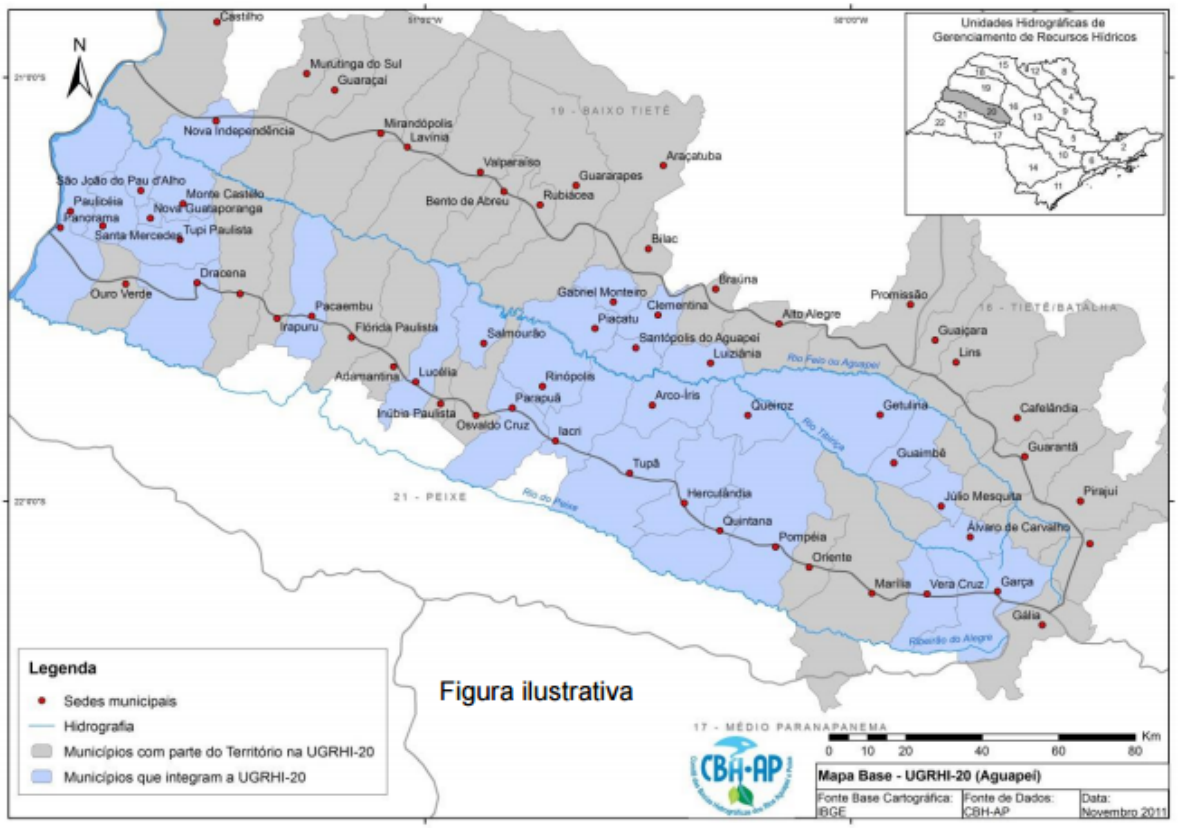


Figura 2- Municípios pertencentes à UGRHI-20.
Fonte: Plano de Bacia AP 2016-2017.

MUNICÍPIOS COM SEDE NA UGRHI	
01 - Álvaro de Carvalho	17 – Pacaembu
02 - Arco Íris	18 – Panorama
03 - Clementina	19 – Parapuã
04 – Dracena	20 – Paulicéia
05 - Garça	21 - Piacatu
06 - Gabriel Monteiro	22 - Pompéia
07 – Getulina	23 - Queiróz
08 – Guaimbê	24 - Quintana
09 – Herculândia	25 - Rinópolis
10 – Iacri	26 – Salmourão
11 - Julio Mesquita	27 - Santa Mercedes
12 - Lucélia	28 - Santópolis do Aguapeí
13 - Luiziânia	21 29 - São João Pau D'Alho
14 - Monte Castelo	30 – Tupã
15 - Nova Guataporanga	31 - Tupi Paulista
16 - Nova Independência	32 - Vera Cruz

Quadro 1 - Municípios com Sede na UGRHI-20.
Fonte: Plano de Bacia AP 2016.

Município	**Área contida na UGRHI 20 (%)**	**Bacia da Sede - UGRHI**
Adamantina	78	Rio do Peixe – UGRHI 21
Alto Alegre	81,37	Baixo Tietê – UGRHI 19
Araçatuba	3,84	Baixo Tietê – UGRHI 19
Bento de Abreu	75,25	Baixo Tietê – UGRHI 19
Bilac	21,01	Baixo Tietê – UGRHI 19
Braúna	72,96	Baixo Tietê – UGRHI 19
Cafelândia	18,3	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Castilho	14,13	Baixo Tietê – UGRHI 19
Flórida Paulista	73,78	Rio do Peixe – UGRHI 21
Gália	10,75	Médio Paranapanema – UGRHI 17
Guaiçara	11,34	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Guaraçaí	44,56	Baixo Tietê – UGRHI 19
Guarantã	48,24	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Guararapes	37,56	Baixo Tietê – UGRHI 19
Inúbia Paulista	63,42	Rio do Peixe – UGRHI 21
Irapuru	71,82	Rio do Peixe – UGRHI 21
Junqueirópolis	67,75	Rio do Peixe – UGRHI 21
Lavínia	45,47	Baixo Tietê – UGRHI 19
Lins	14,46	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Marília	58,52	Rio do Peixe – UGRHI 21
Mirandópolis	39,13	Baixo Tietê – UGRHI 19
Murutinga do Sul	7,71	Baixo Tietê – UGRHI 19

Oriente	51,34	Rio do Peixe – UGRHI 21
Osvaldo Cruz	73,24	Rio do Peixe – UGRHI 21
Ouro Verde	31,37	Rio do Peixe – UGRHI 21
Pirajuí	28,7	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Presidente Alves	28,78	Tietê/Batalha – UGRHI 16
Promissão	20,37	Baixo Tietê – UGRHI 19
Rubiácea	61,02	Baixo Tietê – UGRHI 19
Valparaíso	47,86	Baixo Tietê – UGRHI 19

Quadro 2 - Municípios com área contida na Bacia Hidrográfica Aguapeí.
Fonte: Plano de Bacia AP 2016-2017.

Para efeito de planejamento dos recursos hídricos, a UGRHI-20 foi dividida em 03 sub-bacias ou Unidades de Planejamento Hídrico (UPHs): Alto Aguapeí, Médio Aguapeí e Baixo Aguapeí. A Figura 3 e o Quadro 3 apresentam a localização dos municípios da UGRHI-20 dentro de cada sub-bacia (CBH-AP, 2016-2017).

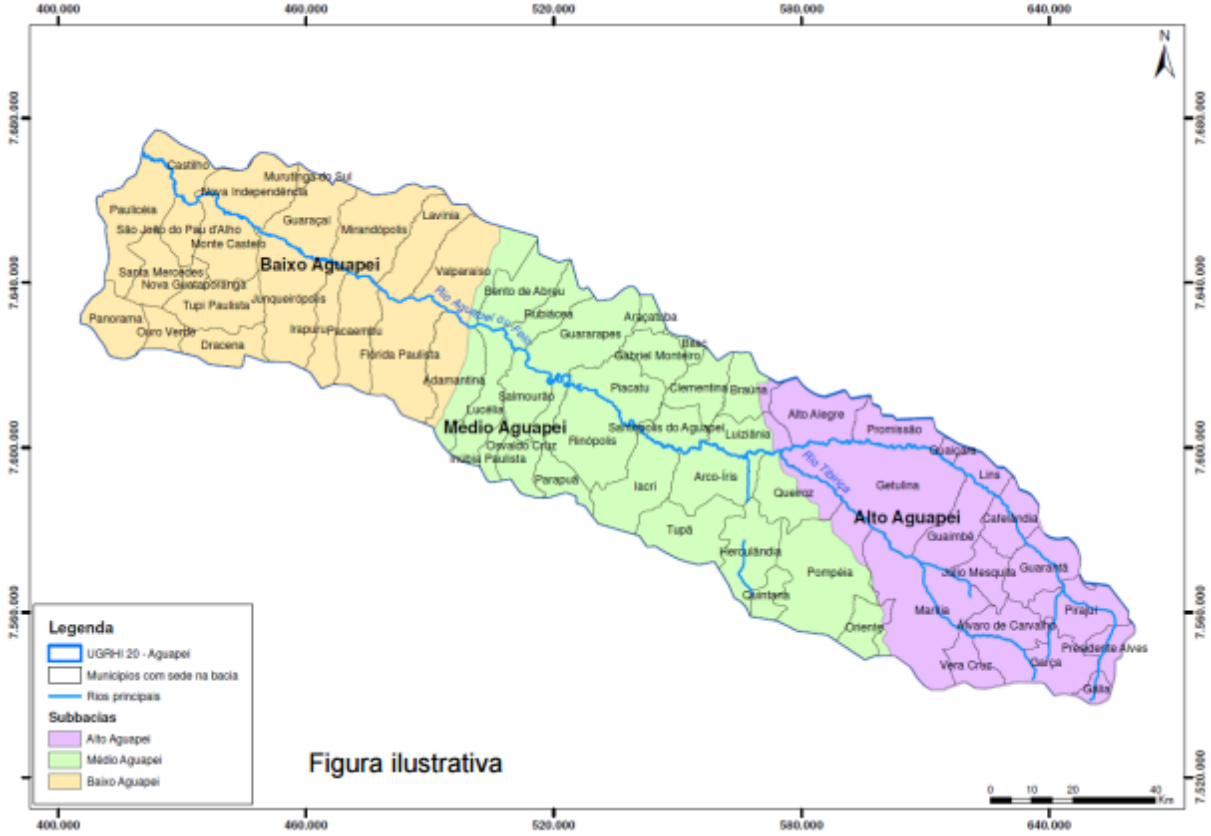


Figura 3 - Sub-bacias e municípios da UGRHI-20.
Fonte: Plano de Bacia AP 2016.

Sub-bacia	Municípios
Alto Aguapeí	Álvaro de Carvalho, Garça, Getulina, Guaimbê, Júlio Mesquita e Vera Cruz.
Médio Aguapeí	Arco Íris, Clementina, Gabriel Monteiro, Herculândia, Iacri, Lucélia, Luiziânia, Parapuã, Piacatu, Pompéia, Queiroz, Quintana, Rinópolis, Salmourão, Santópolis do Aguapeí e Tupã.
Baixo Aguapeí	Dracena, Monte Castelo, Nova Independência, Nova Guataporanga, Pacaembú, Panorama, Paulicéia, Santa Mercedes, São João do Pau D'alho e Tupi Paulista.
Total	**32 municípios**

Quadro 3 - Sub-bacias e municípios da UGRHI-20.
Fonte: Plano de Bacia AP 2016.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Processos erosivos: conceitos e mecanismos

O termo erosão é derivado do latim "erodere" que pode ser definido como um conjunto de processos aos quais materiais terrosos e rochosos da superfície terrestre podem ser desgastados, desagregados ou dissolvidos, a partir daí, esses materiais podem ser transportados pela ação de agentes erosivos como a água, o vento e o gelo (IPT, 1986). É um processo que ocorre naturalmente na crosta terrestre ao longo do tempo geológico e é o principal responsável pela forma do relevo. Contudo, alguns terrenos possuem uma configuração de paisagem que podem apresentar maior ou menor suscetibilidade à erosão. Essa suscetibilidade pode ser potencializada pela forma que se dá o uso e ocupação desses terrenos pelo homem. (SALOMÃO, 1999; BERTONI e LOMBARDI NETO,1990)

Praticamente em toda superfície terrestre tem ocorrido processos erosivos ocasionados pelas águas das chuvas. Isso ocorre ainda com maior frequência em áreas onde o clima é tropical, pois nessas regiões o total pluviométrico é muito maior do que em qualquer outra região da Terra. As erosões são aceleradas também quando as chuvas se concentram numa determinada área, em certas estações do

ano. Além disso, pode-se dizer que outro fator que é responsável por acelerar a erosão é o desmatamento, seja para exploração de madeira, seja para a agricultura. Isso faz com que os solos fiquem ainda mais desprotegidos sem a cobertura vegetal, contribuindo para que as águas das chuvas atinjam diretamente a superfície do terreno (GUERRA, 1999).

Para Guerra (1999), é importante compreender muito bem todo processo erosivo, muito antes de se lançar mão de qualquer uso ou meio de conservação de solos. Para isso, se torna necessário compreender a erosão desde suas primeiras etapas, quando as gotas de chuva batem no solo e começam a promover a ruptura dos agregados pela ação do *splash*, até o momento em que o solo é selado, o que dificultará a infiltração e promoverá o escoamento difuso que, quando se concentrar, formará as ravinas e voçorocas.

De acordo com Guerra (1999) a ação do *splash*, também conhecido em português por erosão por salpicamento é a primeira etapa do processo erosivo, fazendo com que as partículas do solo sejam transportadas pelo escoamento superficial. Tudo isso se torna possível quando os agregados se rompem e se dividem em tamanhos menores, dessa forma a própria força do salpicamento é suficiente para a ação transportadora dessas partículas do solo.

Após essa etapa, esses agregados acabam se percolando junto com a água que está infiltrando entre os poros existentes no solo, promovendo a selagem e trazendo como consequência uma gradativa diminuição da quantidade de poros, o que acarretará num maior escoamento superficial das águas.

Guerra (1999), ainda destaca que, a função do *splash* pode variar, de acordo com a resistência do solo bem como da intensidade de energia cinética promovida pelas gotas das chuvas. A intensidade de energia cinética das gotas sobre o solo que promoverá uma maior ou menor ruptura dos agregados, que formarão as crostas que resultarão na selagem dos solos.

A erosividade é determinada pela intensidade da energia cinética, ou seja, pela intensidade das chuvas. Para se determinar um potencial erosivo, não se deve ter como único fator os parâmetros de erosividade, mas deve-se também levar em consideração as características das gotas de chuvas, que podem variar tanto no tempo como no espaço. Também não podemos deixar de mencionar que o vento pode interferir na erosividade, principalmente quando as chuvas vêm acompanhadas de ventos violentos (GUERRA, 1991).

É importante ressaltar que de acordo com Guerra (1999), a importância da matéria orgânica à estabilidade dos agregados tem sido enfatizada por vários autores (EPSTEIN E GRANT, 1967; FARRES, 1978; VERHAEGEN, 1984; DE PLOEY E POESEN, 1985; IMESON E KWAAD, 1990; GERRA, 1991, 1194 E 1998; GUERRA E ALMEIDA, 1993; GUERRA E GUERRA 1997).

A quantidade da matéria orgânica, juntamente com outras propriedades dos solos, interfere de forma direta na ruptura dos agregados. Dentre essas propriedades podemos destacar a densidade aparente, a textura, a estrutura, a porosidade, bem como também os parâmetros relacionados às características das encostas, cobertura vegetal, erosividade da chuva e ao uso e manejo do solo. Sabe-se que todos esses fatores interferem de forma direta nos agregados, mas muito estudos têm demonstrado que a diminuição da matéria orgânica nos solos contribui para aumentar a instabilidade dos agregados. De Ploey e Poesen (1985), em seus estudos apontaram que solos com percentual menor que 2% de matéria orgânica exibem baixa estabilidade dos agregados. Já para Greenland et al. (1975), os solos podem ser considerados instáveis quando o percentual de matéria orgânica estiver menor que 3,5%. Sendo assim, percebesse-se que não existe um único parâmetro que possa ser utilizado de forma universal para determinar a instabilidade de um solo. Dessa forma, valores encontrados dentre os percentuais apontados são preocupantes, principalmente quando se tratar da capacidade desses solos serem resistentes à força do s*plash*.

De acordo com Wischmeier e Mannering (1969), a matéria orgânica tem uma influência muito maior em solos com um teor de silte maior, uma vez que são esses tipos de solos com maior propensão à erodibilidade, porque em solos com maior teor de argila, esta pode estar atuando no sentido de aumentar a resistência dos agregados ao impacto de chuva. O problema é que solos com alto teor de silte, quando utilizados para a agricultura sem a adoção de cuidados, ficarão cada vez mais propenso à erosão ao longo do tempo, perdendo cada vez mais matéria orgânica, principalmente se não ocorrer a reposição desse elemento. Dessa forma, é possível que ocorra a ruptura dos agregados e isso tendem aumentar, à medida que os solos usados pela agricultura, paralelamente ocorra a diminuição do teor de matéria orgânica (GUERRA, 1999).

Guerra (1999), também deixa claro que, o desmonte dos agregados é uma das primeiras etapas que deve ser considerada no processo de erosão dos solos,

porque esse processo é ponto de partida para que todos os outros processos se desencadeiam no topo do solo, deixando-o instável e consequentemente, iniciando todo processo erosivo.

Farres (1978), também enfatiza que quando se inicia o rompimento desses agregados com a energia das gotas das chuvas, todo um processo é desencadeado, que vai desde o desmantelamento da resistência interna dos agregados, que ao se desprenderem, formam partículas muito pequenas, essas por sua vez, preenchem os poros que existem no topo do solo trazendo como consequência a diminuição da porosidade e um aumento na densidade do mesmo. Dessa forma, inicia-se o processo de formação de crostas na superfície do solo, contribuindo para um maior escoamento superficial.

Quando os agregados vão se rompendo na superfície do solo, crostas começam a ser formadas e, essas por sua vez poderão provocar eventualmente selagem do solo. Caso ocorra a formação de crostas, ocorrerá também uma menor taxa de infiltração e a medida que isso vai acontecendo, resultará em uma maior taxa de escoamento superficial, trazendo como consequência maiores perdas de solo.

Farres (1978) destaca que a formação das crostas na superfície é um dos mecanismos mais importantes para a ocorrência de escoamento superficial. (*runoff)*.

Vale ressaltar que, para que ocorra o processo de erosão é necessário que primeiramente ocorra a selagem da superfície do terreno, a partir da formação das crostas, isso resultará em uma menor taxa de infiltração das águas das chuvas. Feito isso, ocorrerá mudança de processos: de grande destacamento (*detachment*) e baixo transporte, antes dar início ao *runoff,* para baixo destacamento e alto transporte quando estiver ocorrendo o escoamento superficial.

Sabe-se que a estabilidade dos agregados está associada à erodibilidade dos solos. Para Thornes (1980), a infiltração ocorre mais rapidamente nos solos que têm agregados maiores e mais estáveis, diminuindo, consequentemente, a produção de *runoff*. À medida que os agregados são destruídos e a superfície do solo se torna selada, as crostas passam a oferecer maior resistência à ação do *splash*, mas por outro lado aumenta a ação do *runoff*, podendo atingir altas velocidades, que serão suficientes para destacar sedimentos e transportá-los dentro das ravinas.

Vale lembrar que nem sempre as superfícies que foram seladas promoverão aumento na produção de *runoff,* nesse caso é quando a superfície do solo se torna

tão seca que, as rachaduras formadas no topo promovendo uma maior infiltração ao invés do escoamento, mas vale destacar aqui que esse processo é raro entre os eventos de formação de erosão. Muitas vezes o que ocorre mesmo é, a formação de poças na superfície, que por sua vez vão gerar uma diminuição na infiltração e isso acabará dando início ao processo de escoamento superficial.

Para que ocorra erosão, Guerra (1999) destaca a importância fundamental do ciclo hidrológico. É graças ao ciclo hidrológico que parte da água precipita diretamente na superfície, sendo a outra parte interceptada pelos vegetais. Parte dessa água que foi interceptada pelos vegetais pode chegar ao solo por gotejamento das folhas e pelo fluxo de tronco (*stemflow*) ou até mesmo retornar para a atmosfera por evaporação sem nunca ter tocado o solo.

A água que chega ao solo, diretamente pelo impacto das gotas, ou indiretamente após ser interceptada pela cobertura vegetal, é que vai participar da erosão. A água pode tomar vários caminhos: primeiro ela causa o *splash,* depois se infiltra, aumentando o teor da umidade, podendo saturar o solo e, finalmente, pode se armazenar nas irregularidades do solo, formando as poças (*ponds*), que eventualmente poderão dar início ao escoamento superficial (GUERRA, 1999).

A água da chuva que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões, ou se infiltrar, contribuindo, dessa forma, para aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo. Esse processo vai ser influenciado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipos de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopografia da superfície do terreno (EVANS, 1980; THORNES, 1980; DE PLOEY E POESEN, 1985; GUERRA, 1991, 1996 E 1998; COELHO NETTO, 1998).

De acordo com Morgan (1986), quando está ocorrendo uma tempestade, a água precipitada, preenche os espaços que existem entre as partículas do solo, fazendo com que a força da capilaridade diminua, dessa forma diminuindo também a taxa de infiltração, o que deixa o solo saturado, sendo assim, a partir de um determinado momento não conseguirá absorver mais água. Também vale lembrar que a absorção é diminuída pela formação de crostas que estão sendo formadas na superfície do terreno, devido a ação do *splash.* São esses fatores que associados promoverão condições para uma maior formação de poças e consequentemente um maior escoamento superficial.

Outra variável importante no que diz respeito a infiltração da água, é a umidade de antecedente do solo, pois quando a chuva começa e já existe uma certa umidade antecedente, a tendência é de que o solo se torne saturado muito mais rápido, dando origem à formação de poças e ao escoamento superficial, também mais rapidamente do que em solos com menos umidade antecedente.

A medida que a umidade do solo vai aumentado, a resistência ao cisalhamento vai diminuindo. De acordo com Morgan (1984), a medida que a umidade do solo aumenta, esta acaba por atingir seu limite de liquidez que por sua vez começa a fluir. Por outro lado, dependendo da textura do solo, a umidade pode atuar como um elemento agregador. É o caso, por exemplo, dos solos fraco-arenosos (HARTMANN E BOODT, 1974), onde o aumento do teor de umidade pode dar maior resistência ao cisalhamento. Para Hodges e Bryan (1982), a umidade é um fator crítico na determinação da incidência, tempo e magnitude da resposta do *runoff* a um evento chuvoso. Portanto, essa variável deve ser considerada, quando se procura compreender os processos de infiltração. A medida a umidade vai aumentando no solo, também vai tornando o processo de infiltração cada vez mais difícil, isso constitui um dos quesitos para que o solo fique cada vez mais saturado e como consequência, forme as poças que darão origem ao escoamento.

De acordo com Reed (1979), outro fator responsável pela variabilidade da infiltração ao longo do tempo é a forma com que o solo é trabalhado, ou seja, como se dá o uso e manejo dele. Após alguns estudos com solos argilosos, Reed demonstrou que a capacidade de armazenamento na microtopografia da superfície do terreno diminuiu de 5 a 7 mm antes do cultivo, para 3 mm depois das operações com máquinas agrícolas. Isso também pode afetar o processo de infiltração, atuando diretamente sobre a formação de poças e sobre a geração de runoff.

Para Guerra (1999), o escoamento superficial tem que ser precedido pela formação de poças (*ponds*) na superfície do solo. Mas são necessárias condições ideais para que sejam formadas, como por exemplo, concentração de água nas irregularidades existentes no topo do solo (microtopografia), que podem ter entre 1 a 2 mm de profundidade até alguns centímetros, a depender do tipo de solo bem com do tipo de mecanização utilizada para preparação do solo no cultivo.

Ainda para Morgan (1986), taxa de infiltração, que é o índice que mede a velocidade com que a água da chuva se infiltra no solo possui um papel importante na formação de poças e, consequentemente na geração de *runoff,* pois uma vez

saturado o solo, cessa a infiltração e começam a se formar as poças. Estas, por sua vez, ocupam as irregularidades existentes na superfície. Uma vez que essas irregularidades estejam preenchidas por água, começam a se ligar umas com as outras. Nesse momento inicia-se o escoamento superficial, que é a princípio difuso, podendo tornar-se concentrado, à medida que o processo tem continuidade espacial e temporal.

Guerra (1999) chama atenção para as irregularidades existentes na superfície do solo, que podem retardar o processo de escoamento superficial, acumulando águas nessas depressões, por outro lado, se forem rompidas, pelo excesso de água que ficou acumulada, podem dar início a processos rápidos de formação de ravinas, que se estabelecerão na superfície do terreno. Caso não existam irregularidades, pode ser mais difícil desenvolver ravinas, por não haver a possibilidade de se armazenar água em um estágio pré-formador de ravinas. Mas, por outro lado, a água que cai na superfície do terreno pode começar a escoar rapidamente, ou seja, as duas condições (presença e ausência de depressões) podem resultar na formação de ravinas, de maneiras diversas.

Outros fatores que devem ser considerados no estudo de formação de poças são a densidade aparente do solo e a porosidade. Quanto maior for a densidade e menor sua porosidade, essa superfície absorverá muito menos água, resultando em formações de poças mais rapidamente, sendo assim, vai contribuir em muito para o escoamento superficial. Evans (1996) destaca que as estruturas da superfície do solo também influenciam a permeabilidade, pois quando o topo do solo apresenta estrutura fraca, a infiltração de água torna-se difícil, formando poças e alimentando o *runoff*. Quanto à pedregosidade do solo, esta pode tanto funcionar no sentido de retardar o escoamento superficial, formando grandes poças, como pode acelerar o escoamento, uma vez que essas poças sejam rompidas pelo acúmulo de água (EVANS, 1996).

Início do Escoamento Superficial

O escoamento superficial se inicia quando parte da água da chuva se infiltra no solo e provoca sua saturação, dessa forma poças são formadas na superfície desencadeando todo processo de escoamento. Segundo Horton (1945), a retirada inicial das partículas que estão na superfície provocada pelo fluxo superficial pode

ser atribuída à força de cisalhamento que é exercida pelo *runoff,* este aumenta sua profundidade fluxo abaixo a medida que o fluxo aumenta.

De acordo com Horton (1945), a evolução de ravinas associa-se ao fato de que, a medida que a chuva excede sua capacidade de infiltrar no solo, dá-se o inicio do processo de escoamento. Dessa forma, água acumulada nas depressões, também denominadas microtopografias, que se encontram na superfície do solo, até iniciar sua descida encosta baixo, através de um lençol (*sheetflow*), este poderá evoluir para uma ravina (Guerra, 1998). Nesse caso, dizemos que o fluxo passa a ser linear (*flowline*), evoluindo posteriormente para microrravinas (*micro-rills*), e logo após essa fase para as microrravinas com cabeceiras (*headcuts*). A medida que esses processos vão acontecendo na superfície do terreno, é possível que ocorra também bifurcações, através dos pontos de ruptura (*knickpoints*) das ravinas.

Erosão Laminar (**Escoamento em Lençol)**

A água que se acumulada nas depressões do terreno inicia sua descida pela encosta quando o solo está bem saturado e as poças já não são capazes de conter essa água. Em um primeiro momento, o fluxo é difuso, ou seja, um escoamento em lençol (*sheetflow*). A esse processo, denominamos também por fluxo laminar, provocando a erosão em lençol, ou erosão laminar. Segundo Horton (1945), esse fluxo laminar ainda não tem força de cisalhamento suficiente para transportar as partículas, mas pode ser observado que, quando o fluxo de água aumenta e se torna mais rápido descendo encosta abaixo, promove o cisalhamento das partículas do solo e, consequentemente, a erosão propriamente dita começa a acontecer a partir de uma distância crítica do topo da encosta (MERRITT, 1984).

Para Merritt (1984), o fluxo em lençol (*sheetflow*) pode ser identificado com a primeira etapa do processo erosivo, compreendendo um fluxo mais ou menos regular, que desce por uma superfície com poucas irregularidades, sendo um fluxo laminar. Também para Merritt (1984), o processo erosivo vai se estabelecendo na proporção em que o fluxo vai aumentado e descendo encosta abaixo, proporcionado um aumento na concentração de sedimentos bem como na velocidade das partículas desse solo. Diante do exposto, ainda podemos dizer que há grandes chances de recuperação das áreas atingidas por esse processo erosivo, pois nesse caso, ele ainda é muito pequeno, pois ainda encontra-se no seu estágio inicial,

envolvendo apenas o transporte individual de partículas dos grãos que compõem esse solo.

Erosão Linear (Flowline)

O termo *flowline,* aqui traduzido com fluxo linear, é a etapa que ocorre logo após o escoamento em lençol (*sheetflow*). É nesse estágio que se inicia uma concentração do fluxo da água. Assim que o fluxo vai se tornando cada vez mais concentrado nos canais que são bem pequenos, podendo ocorrer em pontos aleatórios da encosta. Dessa forma, provoca um aumento na profundidade do fluxo diminuindo a sua velocidade em detrimento ao aumento da rugosidade. Sendo assim, haverá uma queda simultânea da energia do fluxo provocada pelo movimento de partículas que são transportadas por esses canais que estão em formação e que serão os precursores das novas ravinas que serão formadas.

Nesse estágio de evolução do escoamento superficial, a concentração de sedimentos no interior do fluxo linear faz com que haja um forte atrito entre essas partículas e o fundo dos pequenos canais, causando mais erosão nos canais que estão começando a se formar. Além disso, podemos destacar que na evolução das ravinas começam a se formar dentro desses pequenos canais uma série de marcas devidas ao acúmulo de sedimentos, que se inicia com a diminuição de energia do fluxo linear, quer seja ao final da chuva, ou pela diminuição de gradiente da própria encosta, ao longo do percurso desse fluxo.

A formação de microrravinas (*micro-rills*) é a terceira fase da evolução do escoamento superficial e consequentemente ao processo de formação de ravinas. Dessa forma, grande parte da água escoada em superfície concentra-se em canais bem definidos, e esses ainda são bem pequenos. Nesse momento, a turbulência do fluxo aumenta muito e já encontra o fundo das ravinas que estão se formando (dessa forma denominamos microrravinas), que apresenta algumas ondulações, ou rugosidades, oriundas da etapa anterior – fluxo linear.

De acordo com Guerra (1999), dentro das microrravinas existem rugosidades e essas, têm a tendência de se ampliar e, à medida que vai aumentando seu volume vão se tornando cada vez mais instáveis, contribuindo para um fluxo ainda mais turbulento. Ainda para Guerra (1999) é esse aumento de rugosidade no fundo dos pequenos canais que causa uma turbulência bem localizada, aumentando a erosão, podendo começar a surgir algumas pequenas cabeceiras nas ravinas que estão se

formando na encosta, com o surgimento também de algumas pequenas poças, situadas à jusante dessas cabeceiras. Quando essas poças e as cabeceiras começam a se formar dentro das microrravinas, a evolução do processo erosivo está atingindo o estágio que vem a seguir, ou seja, a formação de microrravinas com cabeceiras.

Para Guerra (1999), o quarto estágio na evolução das ravinas é a formação de microrravinas com cabeceiras (headcuts). De acordo com Guerra (1999), essas cabeceiras tendem a coincidir com um segundo pico na produção de sedimentos, resultantes da erosão ocorrida dentro das ravinas. Isso demonstra que, nesse estágio da evolução das ravinas, o processo está alcançando um nível de equilíbrio dinâmico, ou seja, nesse estágio ocorre uma zona de deposição de sedimentos, abaixo das cabeceiras, indicando que a taxa de produção de sedimentos, a partir do recuo das cabeceiras, excedendo a capacidade de transporte do fluxo de água.

Assim que as cabeceiras vão se recuando em direção às partes mais elevadas das encostas, o canal também vai se tornando mais largo e ao mesmo tempo mais profundo, dessa maneira, existem condições de transportar os sedimentos que chegam a esses canais e, à medida que se desenvolvem a partir de outras cabeceiras, tornando-se pequenas ravinas. Essas poderiam ser consideradas, na prática, as ravinas propriamente ditas. Apesar de já poderem ser consideradas ravinas desde o terceiro estágio da evolução (desenvolvimento de microrravinas), essas incisões iniciais do solo são tão pequenas que na maioria das vezes não são muito bem identificadas na paisagem.

Segundo Bryan (1990), a formação de ravina é um processo erosivo muito crítico e está frequentemente associado a um rápido aumento da concentração de sedimentos transportados pelo *runoff*. Reconhecer como se desenvolvem as ravinas é importantíssimo para prática de conservação dos solos, e não-distinção entre situações onde as ravinas podem se estabelecer, ou não, contribui para uma menor capacidade de predição da ocorrência de tais processos em alguns modelos, como é o caso das Equação Universal de Perda de Solo.

Assim que se estabelecem em uma encosta, as ravinas têm a tendência a evoluir através das bifurcações em *knickpoints* (pontos de ruptura). Bryan (1990) demonstrou em experimentos executados com simuladores de chuva, em laboratório, que, logo após a formação das ravinas na superfície do solo, com presença de cabeceiras (quarto estágio na evolução das ravinas), *knickpoints*

começaram a se estabelecer nessa rede em formação. Alguns desses *knickpoints* podem ser destruídos, à medida que a rede de ravinas se bifurca e evolui, enquanto outros podem continuar e permanecer nas encostas que estão passando por processos erosivos. De acordo com Bryan (1990), a maioria dos *knickpoints,* se foram como uma resposta a condições hidráulicas que se estabelecem durante a evolução das ravinas.

Bryan (1990), em experimentos realizados em laboratórios observou que em superfícies mais irregulares o transporte inicial de sedimentos pelas ravinas, após o estabelecimento de cabeceiras, pode fazer reduzir a rugosidade dentro das ravinas e, consequentemente, levar a um alargamento e menor profundidade dos microcanais que estão se formando, o que, segundo ele, é a condição ideal para formar *knickpoints.* Uma vez formados, eles seguem uma evolução variada e complexa, que inclui seu recuo rápido e bifurcação, que estão relacionados à deposição localizada de sedimentos dentro dos canais que estão se formando (GUERRA, 1999).

Muitas das observações já feitas na evolução da rede de ravinas, a partir da bifurcação dos *knickpoints*, podem ter analogia com a evolução das cabeceiras que se estabelecem numa rede de voçorocas, mas dados preciosos, no que diz respeito às condições hidráulicas em escala maior, como as voçorocas, ainda não estão disponíveis e são mais difíceis de serem simuladas em laboratórios.

Formação das Voçorocas

As voçorocas segundo Vieira (1978), são processos erosivos que se caracterizam por depressões muito profundas que atingem o lençol freático e que estão circundadas por vertentes praticamente verticais, se alargando nas proximidades das cabeceiras devido à intensa atividade erosiva regressiva que vai se afunilando junto a foz do curso de água que a percorre, cortando sedimentos arenosos que são de baixa coesão, sem apresentar grande declividade longitudinal.

Viera (1978) também ressalta que as voçorocas constituem os processos erosivos de maiores proporções, resultando numa grande perda de solo e consequentemente causando enormes prejuízos financeiros, sociais e ambientais.

Na imagem a seguir (Figura 4) são mostradas as fases da erosão hídrica, sendo:

A – Impacto da gota da chuva

B – Fase de desagregação do solo

C – Fase de transporte do solo

D – Fase de deposição de sedimento

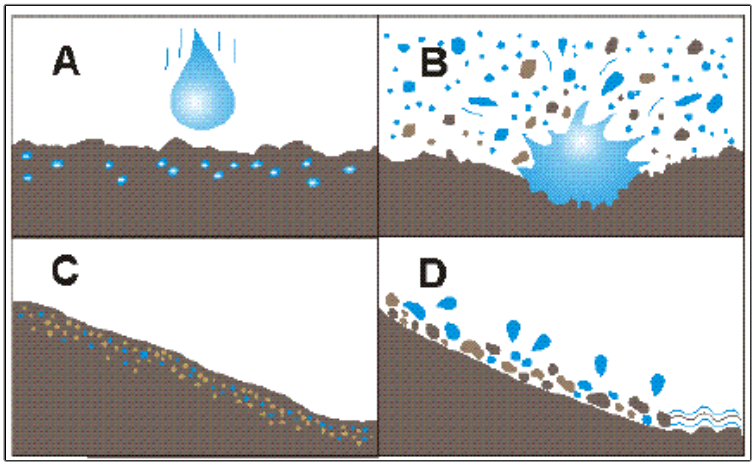


Figura 4 – Fases da erosão hídrica
Fonte: Derpsch et al (1991)

4.2. Bacias Hidrográficas e Unidades de Gestão de Recursos Hídricos - UGRHI

De acordo com Botelho (1999), a bacia hidrográfica é compreendida como a área que é drenada por um rio principal e seus afluentes podendo ela ser delimitada a partir das cotas altimétricas que são estabelecidas pelos divisores de água. Esta área configura-se espacialmente por meio de uma hierarquia fluvial ou rede de drenagem, que envolve um conjunto de canais desde as nascentes até o ponto de saída ou *outlet* representados sobre uma base cartográfica.

Podemos definir uma bacia hidrográfica pela presença de uma rede de drenagem que convergem toda precipitação da chuva para um ponto mais baixo, esse conhecido como exutório. (BRAGA ET AL., 2005; AZEVEDO; BARBOSA, 2011).

Por convenção, é denominado como rio principal de uma bacia, a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exutório. Os afluentes são os drenos secundários, esses conduzem a água diretamente ao rio principal. Já os rios que

fluem para os afluentes são denominados subafluentes do rio principal (CRUZ; TAVARES, 2009).

Para Tucci (1993), essa interação a qual é composta de pelo menos um rio principal e seus afluentes que concentram água por toda bacia, é chamada de rede de drenagem.

De acordo com Porto (2012), o gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e nos Estados é realizado sob a égide de dois ordenamentos institucionais e legais: o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e os Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tal dicotomia é decorrência do regime de dominialidade de nossos cursos de água, consagrado pela Constituição Brasileira de 1988. Em termos práticos, isto significa que, em questão de metros, um curso de água pode mudar do domínio estadual para o federal e passar a ser submetido a sistemas de gerenciamento diferentes, com todas as implicações decorrentes de tal passagem. Entretanto “a água é uma só” por isso a necessidade de uma gestão de forma integrada.

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos da mesma forma que regulamentou o inciso XIX do artigo 21 da Constituição e no Título I que trata da Política Nacional de Recursos, afirma em seus fundamentos do Art. 1º que:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Fica claro no Item V do Artigo 1º da Lei nº 9.433/97 que toda ação promovida no que diz respeito ao planejamento e implementação de Gestão pelo Poder Público deve ocorrer dentro da área delimitada correspondente à Bacia Hidrográfica.

Embora a bacia hidrográfica seja a menor unidade espacial de gerenciamento de recursos hídricos, muitas vezes, é necessário um planejamento integrado que envolva duas ou mais bacias hidrográficas. É o caso das reversões de bacias hidrográficas, em que tanto a quantidade como a qualidade da água são afetadas pelas retiradas ou pelos afluxos desses volumes. São questões que causam impactos significativos na opinião pública, pelos efeitos sobre a qualidade de vida das pessoas. Podemos usar como exemplos: reversão da bacia do Rio São Francisco, reversão da Bacia do Rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê e outros.

As Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos se baseiam no conceito de bacia hidrográfica para planejamento e implementação da legislação vigente, entretanto, nem sempre o recorte territorial de uma determinada UGRHI é exatamente igual ao recorte da bacia hidrográfica. Podemos usar como exemplo a UGRHI-22 Pontal do Paranapanema, que tem um recorte territorial, entretanto dentro dessa Unidade de Gestão encontramos outras sub-bacias como bacia do Rio Santo Anastácio. Dessa forma o Estado de São Paulo organizou seu território em Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) conforme está representado na Figura 5.

O Sistema Paulista de Recursos Hídricos

Para Barth (1999), o gerenciamento de recursos hídricos teve um grande impulso, a partir de 1983 no Estado de São Paulo, com a descentralização do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, mediante a criação de Diretorias de Bacias Hidrográficas, efetivada em 1985. Posteriormente, em 1987, foi criado o Conselho Estadual de Recursos Hídricos e, em 1988, promulgada a Lei 6.134 que dispunha sobre a preservação das águas subterrâneas. No início de 1991 foi aprovado o primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos e no final daquele ano, promulgada a Lei no. 7.663, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. Seguiu-se a adaptação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos à nova lei e a regulamentação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO.

Os princípios adotados pela Lei nº 7.663/1991

O modelo paulista baseia-se em sete princípios que, pela sua importância, são reproduzidos textualmente, de acordo com o artigo 3º da lei.

I gerenciamento descentralizado, participativo e integrado, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos e das fases meteórica, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico;

II adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento;

III reconhecimento do recurso hídrico como um bem público, de valor econômico, cuja utilização deve ser cobrada, observados os aspectos de quantidade, qualidade e as peculiaridades das bacias hidrográficas;

IV rateio do custo das obras de aproveitamento múltiplo de interesse comum ou coletivo, entre os beneficiados;

V combate e prevenção das causas e dos efeitos adversos da poluição, das inundações, das estiagens, da erosão do solo e do assoreamento dos corpos d'água;

VI compensação aos municípios afetados por áreas inundadas resultantes da implantação de reservatório e por restrições impostas pelas leis de proteção de recursos hídricos;

VII compatibilização do gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente.

É mais usual encontrar-se a citação dos três primeiros princípios como sendo básicos. Entretanto todos eles são essenciais na medida em que conferem completude, robustez e coerência ao Sistema.

As Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHI) são constituídas de unidades territoriais com dimensões e características que permitem e justificam o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos conforme descrito no artigo 20 da Lei Estadual 7.663 de 30 de dezembro de 1991.



Figura 5 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.
Fonte: Emplasa, 2015; DAEE, 2007; IGC, 2015.

4.2.1. As Bacias hidrográficas como unidades de Planejamento Ambiental

Para Tucci (1993), o estudo de uma bacia hidrográfica possibilita observar os detalhes e as variações de diferentes processos que estão acontecendo nela, sendo possível conhecer as variáveis hidrológicas que estão ocorrendo bem como compreender melhor todos os fenômenos e assim procurar representá-los matematicamente. Isso é possível porque a bacia hidrográfica possui características essenciais permitindo integrar de forma multidisciplinar diferentes sistemas de gerenciamento de estudo e atividade ambiental, justamente por ser um processo descentralizado de conservação e proteção do ambiente.

De acordo com Bordallo (1995), utilizar a bacia hidrográfica como unidade de estudo para gestão de diferentes formas de atividades e uso de suas potencialidades ambientais, tem como principal papel, projetar, interceder, executar e manusear as melhores formas de apropriação e exploração de seus recursos naturais. Dessa forma, proporciona-se o desenvolvimento econômico e social da população que utiliza esses recursos de forma sustentável, diminuindo o impacto negativo na qualidade de vida dessas pessoas e do ambiente.

Para Albuquerque (2012), delimitar corretamente uma bacia pode ser uma tarefa complicada, justamente por necessidades impostas como por exemplo, tipo e usos que área será submetida.

Albuquerque (2012) também destaca que para pequenas e médias bacias, que podem estar situadas tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais, ao fazer o planejamento é preciso georeferenciar no terreno os pontos a serem fechados, isso é valido tanto para planta, quanto para carta ou mapa como forma de validar dados de campo, assim num futuro próximo evita-se equívocos. Dessa maneira, reconhecer requer levantamentos detalhados de campo para identificar e zonear as áreas que devem ter seus tipos de usos bem definidos, dessa forma compondo a base cartográfica do planejamento ambiental.

Uma vez estabelecidos os limites de estudos, uma caracterização poderá ser realizada, dessa forma é possível compilar um conjunto de informações específicas de cada ciência como por exemplos: a Geologia, Geomorfologia, Pedologia,

Hidrologia, Climatologia, Fauna e Flora que podem ser tanto qualitativo quanto quantitativos (Figura 6) (ALBUQUERQUE, 2012).

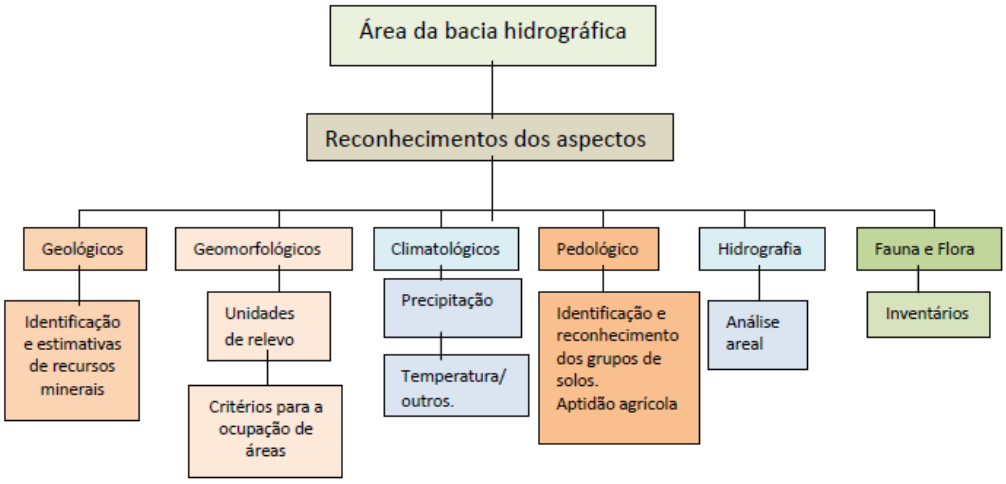


Figura 6 - Bacia hidrográfica – reconhecimento do ambiente físico.
Fonte: Albuquerque (2012)

Após serem coletados todos os dados, estes serão sistematizados e armazenados em sistemas de informações geográficas e se necessário serão atualizados. A área da bacia hidrográfica que foi delimitada comporá uma base cartográfica representativa dos pontos de obtenção dos dados. Podemos dizer que para haver ocupação, o planejamento e a ocupação territorial, conhecer a geomorfologia do terreno é fundamental, pois obter cotas de curva de nível nos permite identificar unidades de relevo, dessa forma há o auxílio de reconhecimento das unidades geomorfológicas e a identificação de áreas favoráveis ou não à ocupação. Dessa forma, é possível identificar as áreas sujeitas à inundação, topos e superfícies dissecadas, encostas de forte declive, fundos de vales dentre outras (ALBUQUERQUE, 2012).

4.3. Planejamento Ambiental

A implementação de um planejamento ambiental é fundamental diante da contínua degradação que vem ocorrendo nas bacias hidrográficas. Dessa forma, garante-se de forma efetiva a resolução de problemas e de conflitos que existem nela, propiciando um aumento gradativo da qualidade de vida das comunidades que estão envolvidas nessa bacia. No Brasil, país que ainda não tem bem definidos os fundamentos do processo do planejamento ambiental por muitos profissionais, essa

tarefa não é fácil, pois exige conhecimentos técnicos, ambientais, sociais, históricos, econômicos e culturais para o desenvolvimento desse planejamento.

O termo planejamento ambiental tem sido confundido por muitos profissionais e até mesmo por alguns autores. A confusão gira em torno de termos como Gerenciamento Ambiental e Gestão Ambiental e Planejamento Ambiental. Cada termo apresenta referencial teórico e metodológico bem definidos, portanto não podem ser confundidos, embora sejam bem próximos. Dessa forma, considerar os referenciais é fundamental para evitar erros.

De forma resumida, podemos interpretar a gestão ambiental como sendo a integração entre o planejamento ambiental, o gerenciamento ambiental e a política ambiental, conforme demonstrado na Figura 7.

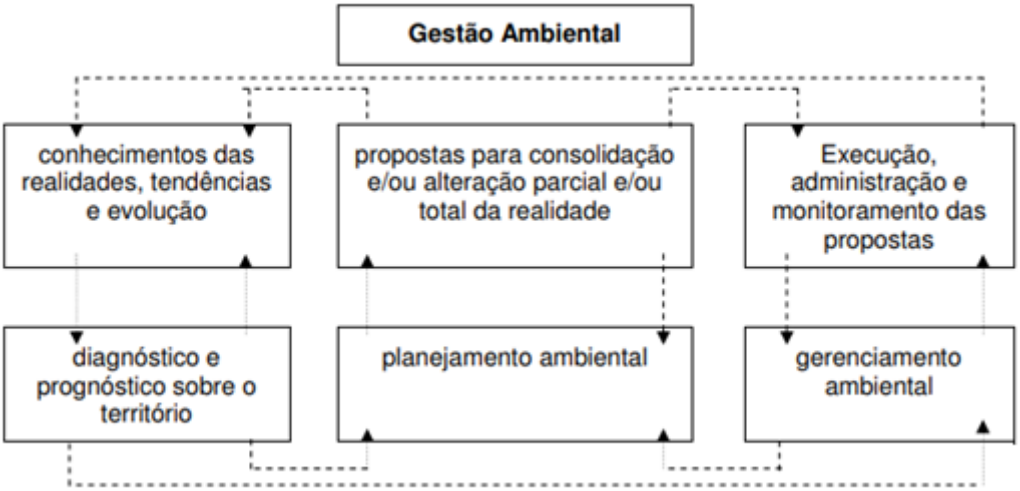


Figura 7 - Interações entre gestão, planejamento e gerenciamento ambiental.
Fonte: Santos (2004).

Para Santos (2004), primeiramente é necessário planejar (planejamento) e após essa etapa, gerenciar (gerenciamento ambiental). Sendo assim, suas funções estarão atreladas à aplicação, controle e monitoramento do que foi delimitado durante o desenvolvimento do planejamento.

Não podemos tomar o planejamento ambiental como uma definição única e imutável, pois esse conceito modificou ao longo do tempo. Diante disso, há vários conceitos de planejamento ambiental encontrados na literatura. O que há de se admitir é que existe um consenso em determinar metas e objetivos bem como estabelecer instrumentos adequados para viabilizar um cenário socioambiental adequado no futuro.

Ainda de acordo com Santos (2004), o planejamento é um processo contínuo que envolve desde a coleta, a organização e a análise sistematizada das informações, através de métodos e dos melhores procedimentos, dessa forma podendo chegar ao aproveitamento máximo dos recursos disponíveis no ambiente.

Vale destacar que dada situação ambiental tem caráter complexo, por isso se faz necessário considerar que no planejamento exista uma abordagem interdisciplinar e integrada, levando em conta não só os aspectos físico-naturais mas também as dinâmicas antrópicas existentes.

Para Franco (2001), atualmente o planejamento ambiental tem um papel primordial, pois ele garante a preservação e conservação dos recursos naturais e, consequentemente a perpetuação da civilização.

O público-alvo do planejamento deve ter um enfoque especial, pois o planejador deve estar em contato permanente com esse grupo, no caso das bacias hidrográficas, o público-alvo que deve ter um enfoque especial é a comunidade local, pois essa tem que fazer parte do planejamento.

4.3.2. Histórico do Planejamento

Para Santos (2004) e Silva (2003), ao longo do tempo houve mudanças com a preocupação central do planejamento ambiental, seus fundamentos e metodologias, podemos verificar essas mudanças no Quadro 4 a seguir:

Período Histórico	Preocupação central do planejamento
Primeiras aldeias – Mesopotâmia – 4000 AC (topografia e clima, preceitos religiosos, esotéricos e de conforto).	Ordenação do espaço
Grécia – Aristóteles: o grande teórico das cidades.	Impactos ambientais em cidades
Grécia Antiga à Revolução Industrial (preceitos religiosos, defesa de condomínios, desenvolvimento de mercado, domínio social e político, estético, funcional).	Impactos culturais e socioeconômicos
Virada do século XIX – anos 30	Planejamento de recursos hídricos e gestão de bacias hidrográficas
Anos 50-60	Planejamentos econômicos
Anos 50-70	Avaliação de impactos ambientais
Anos 70	Retomada dos fundamentos dos métodos de decisão multicriterial
Anos 70-80	Conservação e preservação de recursos naturais
Anos 90	Desenvolvimento sustentável

Quadro 4 - Histórico planejamento ambiental.
Fonte: Modificado de Silva (2003).

Há 4.000 anos AC já havia planejamento ambiental nas aldeias da Mesopotâmia, que surgiram com a preocupação do ordenamento do espaço levando em consideração a topografia e clima além de preceitos místicos e de conforto.

Já Aristóteles, na Grécia antiga, desenvolve uma grande reflexão sobre a organização urbanística, isso vai desde a formação de bairros específicos, conforme a sua função (comercial, administrativo, residencial e religioso) até o desenvolvimento de dois tipos de praças (comercial e vida pública). Já é possível observar que nesse período havia uma preocupação em resguardar a cidade de impactos ambientais.

Entre os períodos da Grécia antiga à Revolução Industrial, a medida que as cidades foram crescendo, os bens de serviços também aumentaram proporcionalmente, então ao planejamento foram agregadas novas conformações, levando-se em conta as dinâmicas sociais e econômicas da época.

Com o advento da Revolução Industrial e estudos das espécies e ecossistemas (Darwin, Tansley e Linderman), tornou-se necessário ampliar a visão do homem com o meio. Ao final do século XVIII, a escola francesa contribuiu com o planejamento de recursos hídricos e de saneamento.

A medida que as ciências foram sendo desenvolvidas e aprimoradas, o meio ambiente e suas paisagens passaram a ser estudados de forma mais específicas, pois os estudos foram fragmentados em suas particularidades.

Entre os anos de 30 e 40, podemos destacar o desenvolvimento do planejamento voltado para os usos múltiplos dos recursos hídricos bem como à gestão das bacias hidrográficas.

Os países dominantes período pós Segunda Guerra, concentraram seus esforços na esfera de planejamento econômico, pois era necessário acelerar o crescimento, dessa forma, os planos ficaram rígidos e burocráticos dificultando sua operacionalização.

É nos anos de 50 a 60 que surge uma preocupação aos impactos ambientais nos planejamentos ambientais. A preocupação era principalmente em relação às grandes obras. Nos Estados Unidos e Canadá já era necessário antes de qualquer empreendimento um planejamento ambiental com exigência de estudos de impactos ambientais, levando em consideração todos os aspectos como pré-requisito legal a instalação do empreendimento.

Nesse momento começa a se questionar o desenvolvimento puramente econômico em relação a crescente degradação do meio ambiente. Planejamentos que levasse em consideração os aspectos apenas econômicos já não eram suficientes para garantir qualidade de vida.

Podemos considerar como sendo o marco da questão ambiental a constituição do Clube de Roma, que em 1968 era formado por cientistas, políticos, industriais de vários países. Nesse grupo era possível encontrar representantes de diversas áreas do conhecimento - ecológica, econômica, social, industrial e social cujo objetivo principal era discutir não apenas e puramente o crescimento econômico, mas a crescente demanda dos recursos naturais. Relatórios produzidos por esse grupo influenciara mais tarde políticas públicas em vários países, com por exemplo, nos Estados Unidos a National Environmental Policy Act (NEPA), uma lei que tinha como exigência levar em consideração todas variáveis ambientais num determinado planejamento para grandes obras.

Dessa forma os anos seguintes entre 70 e 80 são marcados pela preservação e conservação dos recursos naturais justamente porque se torna necessário durante a execução dos projetos de grande porte o planejamento ambiental.

No final da década de 70, houve retorno da decisão multicriterial, bastante utilizada nos anos 30 para planejamento dos recursos hídricos.

O Planejamento Ambiental se consolida justamente na década de 90, pois o Desenvolvimento Sustentável se torna finalmente necessário em detrimento da crise socioambiental. Movimentos ambientalistas, avanços da ciência e tecnologia, conferências mundiais (Estocolmo, Rio 92, etc.) entre outros são fundamentais nessa época para desencadear conceitos, princípios e metodologias a serem inseridas no planejamento ambiental, dessa forma garantindo não só a proteção da natureza, mas a melhoria da qualidade de vida de todas as pessoas existente no planeta.

Apesar de o Brasil estar sempre um a um passo frente dos países desenvolvidos no que diz respeito ao planejamento ambiental, ainda estamos num processo de construção de teorias, de metodologias e políticas públicas de planejamento direcionado à conservação ambiental (SANTOS, 2004).

Tipos de Planejamento

Determinados os tipos de planejamento de acordo com os referenciais que são adotados: **abrangência espacial** (local, bacia hidrográfica, municipal ou

estadual, nacional ou internacional, micro ou macro-regional), **natureza das atividades** (socioeconômico, agrícola, arquitetônico, ambiental) e **operacional** (projeto e setores).

Estrutura do Planejamento Ambiental

Conforme pode ser observado na figura 8, o planejamento ambiental terá sempre em sua estrutura algumas fases e procedimentos básicos.

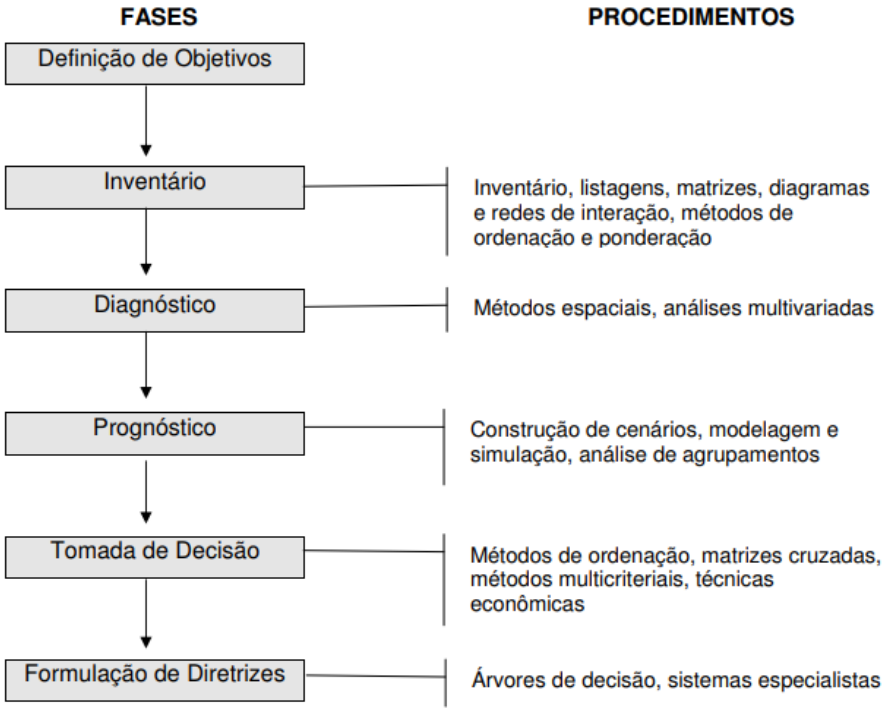


Figura 8 - Exemplo de estrutura geral das fases de um planejamento ambiental.
Fonte: Modificado de Santos (2004).

4.4 Modelos preditivos para avaliação de suscetibilidade à erosão

O modelo mais conhecido e utilizado na estimativa de erosão laminar é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1976); enquanto para a determinação da suscetibilidade à erosão linear, no Brasil tem-se utilizado amplamente a metodologia de Fragilidade Ambiental, proposta por Ross (1990).

4.4.1 – A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

A EUPS atualmente além de ser um dos modelos para erosão hídrica laminar mais conhecido, é também considerada a mais confiável. Tal fato se deve a sua ampla divulgação por causa de sua robustez e por ser constituído por uma simples

estrutura fatorial que integra fatores naturais e antrópicos que atuam na perda de solos (CHAVES, 1995). Esse modelo determina a perda de solo de forma quantitativa, entretanto em boa parte do Brasil não há informações suficientes ou calibrações para ter-se uma estimativa confiável. Mesmo diante destas condições, a EUPS ainda sim permite identificar áreas de maior ou menor suscetibilidade à perda de solo, sem contar que os resultados deste modelo são imagens ou grades contendo valores de perda de solo de forma contínua, ou seja, que vão variando ao longo do terreno de pixel a pixel, não estando restrita apenas a uma determinada unidade de paisagem. Sendo assim, os parâmetros são ajustados de acordo com o interesse do estudo, considerando as diversas formas de uso e ocupação do solo e suas variações ao longo do tempo (MATA et al., 2007; ALCÂNTARA & SOUZA, 2010).

Os componentes da EUPS são agrupados em seis fatores, que auxiliam no entendimento da atuação dos processos de erosão laminar acelerada. O produto dos fatores representa a média anual de perdas de solo (A) em toneladas por hectare e estão relacionados da seguinte forma:

$$\mathbf{A = R \,.\, K \,.\, L \,.\, S. \, C \,.\, P}$$

Onde:

A = representa a estimativa de perda média anual de solo em determinada área, em condições específicas de uso e ocupação do solo (t/ha.ano)

R = Erosividade da Chuva (Mj.mm/ha.h.ano)

K = Erodibilidade do solo (t.h/Mj.mm)

L = Comprimento de rampa (m)

S = Declividade de rampa (%)

C = Uso e manejo do solo (0 a 1)

P = Práticas conservacionistas (0 a 1)

Os fatores RKLS dependem das características naturais, enquanto os fatores C e P estão relacionados às formas de uso e ocupação da terra. Podemos

considerar que se ocorrer mudanças nos primeiros fatores mencionados, essas mudanças são de características naturais, ou seja, alterações ambientais como, por exemplo, mudanças climáticas severas ou erosões importantes que possam alterar a topografia. Já os fatores C e P podem ser alterados quando ocorrem ações de uso de solo e de conservação (SÃO PAULO, 1989).

4.4.2 Análise da Fragilidade Ambiental: algumas considerações

A obra intitulada “Ecodinâmica” produzida por Tricart (1977), trouxe contribuições significativas para que fossem aplicadas abordagens sistêmicas na compreensão das relações ambientais. Nessa obra, o autor caracteriza as unidades ecodinâmicas como sendo uma dinâmica do meio ambiente cujos reflexos ocorrem sobre as biocenoses, ou seja, sobre toda comunidade biológica.

Dessa forma, Tricart (opcit), defende a ideia de unidade ecodinâmica integrada ao ecossistema, não somente para inventariá-lo ou descrevê-lo, mas para compreender as diferentes relações, de forma que é possível entender que as relações humanas sempre interferem no ambiente.

Para Tricart (1977, p. 36-53) é possível classificar o sistema ambiental em três grandes categorias de unidades ecodinâmicas, para tal, é necessário observar os fluxos de matéria e energia nos ambientes:

- Unidades Ecodinâmicas Estáveis: ambiente natural praticamente preservado, com certa manutenção dos processos que regem os fluxos de matéria e energia, incorrendo em equilíbrio dinâmico. De forma geral, apresentam cobertura vegetal significativamente fechada (ombrófila), dissecação moderada, com vertentes em lenta evolução, ausência de movimentações vulcânicas capazes de gerar paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos, entre outros;
- Unidades Ecodinâmicas Intergrades: áreas de transição entre unidades estáveis e instáveis. Apresentam processos morfogenéticos e pedogenéticos, simultaneamente e em locais muito próximos;
- Unidades Ecodinâmicas Fortemente Instáveis: a morfogênese destaca-se como o elemento predominante da dinâmica e fator determinante do sistema

natural, tendo os demais subordinados a ele. Pode ser gerada por questões geodinâmicas, com destaque para o vulcanismo, ou mesmo pela instabilidade climática/manifestações meteorológicas extremas.

Ao se realizar o planejamento territorial ambiental, as fragilidades dos ambientes naturais podem ser avaliadas baseadas no conceito de Unidades Ecodinâmicas proposto por Tricart (1977). Destro dessa visão, o ambiente é analisado sobre a óptica da Teoria de Sistemas, partindo da premissa que a natureza está em constante troca de energia e matéria que se processam através de equilíbrio dinâmico, que podem ser rompidos pela ação do homem nos diversos componentes da natureza, gerando assim estado de desequilíbrio temporário ou até mesmo permanente.

Diante disso, Ross (1990, 1994, 1996) propôs a análise da fragilidade dos ambientes baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) de estabilidade (equilíbrio dinâmico) e de instabilidade (desequilíbrio), inserindo novos critério. Dessa forma, Ross (op cit) apresenta:

- Unidades Ecodinâmicas Instáveis: aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas;

- Unidades Ecodinâmicas Estáveis: aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se portando em seu estado natural.

Ross (op cit) ampliou o conceito de Unidades Ecodinâmicas para que pudessem ser utilizadas como subsídio ao Planejamento Ambiental. Assim, as Unidades Instáveis ou de Instabilidade Emergente passam a ter vários graus, desde Instabilidade Muito Fraca a Muito Forte. O mesmo é feito para as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, embora estas estejam em equilíbrio dinâmico, apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica. Dessa maneira, as Unidades Ecodinâmicas Estáveis passam a ser Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial em diferentes graus, tais como: as de Instabilidade Emergente, ou seja, Muito Fraca a Muito Forte. No Quadro 5 a seguir podemos ver as principais diferenças entre as propostas feitas por Tricart (1977) e Ross (1994):

Autores	Proposta Metodológica	Conceituação	
		Ambientes Naturais	**Ambientes Antropizados**
TRICART, 1977	Ecodinâmica	Unidades Estáveis	Unidades Instáveis
ROSS, 1994	Fragilidade ambiental	Unidade Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial	Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente

Quadro 5 - Diferenças entre Tricart (1977) e Ross (1994).
Fonte: (AMARAL; ROSS, 2009).

De acordo com Ross, para analisar empiricamente a fragilidade, são necessários estudos básicos do relevo, do sub-solo, do solo, do uso da terra e do clima. Esses estudos precisam ser levantados em campo e posteriormente serem analisados em gabinete, sendo possível a partir daí gerar produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, bem como Uso da Terra/Vegetação. Todo produto temático desses estudos deve ser acompanhado de relatórios técnicos sintetizados. Esses relatórios são referenciais para avaliação da potencialidade agrícola (aptidão agrícola ou capacidade de uso) bem como subsidiar a análise da fragilidade mediante às ações antrópicas ligadas a agropecuária.

Para Ross (1994), levantamentos geológicos são fundamentais para compreender a relação entre relevo, solo e rocha, já as informações climáticas (intensidade, duração e volumes das chuvas) são importantes para compreensão da potencialidade agrícola bem como avaliar a fragilidade natural dos ambientes. Ross (op cit) também destaca que analisar a rugosidade topográfica do relevo (índices de dissecação) e declividades das vertentes bem como fazer o levantamento dos tipos de Uso da Terra são fundamentais para diagnosticar as diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Também é destacado por Ross (1990 e 1992) que para elaborar um mapa de fragilidade ambiental, o mapa geomorfológico é um dos produtos intermediários principais. Para análise em escalas médias e pequenas tipo 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000 utiliza-se como base de informação os padrões de forma com a rugosidade topográfica ou os índices de dissecação do relevo. Caso seja uma análise na qual se deseja maior detalhes, as escalas a serem utilizadas são: 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000 nesse caso, utiliza-se as formas das vertentes e as classes de declividade.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos nessa pesquisa, os procedimentos metodológicos adotados são descritos a seguir.

5.1 Levantamento e análise bibliográfica

Num primeiro momento foi realizada uma revisão de literatura acerca da orientação teórico-metodológica.

Num segundo momento foram levantados os dados do meio físico, de uso e ocupação da terra e dos aspectos socioeconômicos referentes à UGRHI 20, por meio de levantamento bibliográfico.

Para a caracterização do meio físico e de uso e ocupação da terra foram analisadas diversas publicações como livros, artigos, mapas e cartas.

Para a caracterização socioeconômica (processo histórico de ocupação da área de estudo, crescimento urbano, número de habitantes, comércio, indústrias) foram utilizados materiais bibliográficos, disponíveis em instituições públicas como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no Portal SigRH (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo), no site CBH-AP (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe) e no DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica).

5.2. Elaboração dos mapas para a caracterização do Meio Físico

Os produtos confeccionados foram produzidos utilizando os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) *ArcGIS10.3*, da ESRI, a partir dos dados existentes do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo Projeto TOPODATA do INPE (Banco de dados geomorfométicos do Brasil)[1]. Os procedimentos descritos a seguir foram baseados em Moroz-Caccia Gouveia (2015; 2017) e Pereira & Moroz-Caccia Gouveia (2017).

Após a obtenção dos dados SRTM, já com o uso do SIG – ArcGis executou-se o mosaico das imagens e o recorte da área de estudo, utilizando a ferramenta

[1] http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php

extract by mask para recortar o modelo a partir do shape da área de interesse. Gerando assim, o MDE (Modelo Digital de Elevação).

O passo seguinte foi executar a ferramenta “fill” e logo em seguida “flow direction”. A partir dele utilizou-se o “flow accumulation” para a extração da rede drenagem. Em seguida realizou-se a hierarquização dos canais de drenagem obtidos anteriormente, pelo método de Strahler, através da ferramenta “stream_order”. Concluída essa parte, foi necessário fazer a transformação deste raster para feição (feature), criando um arquivo shape. Dessa forma obteve-se o Mapa Hidrográfico.

Também foram gerados o mapa hipsométrico, mapa topográfico e o relevo sombreado que, embora não sejam produtos intermediários para a elaboração dos mapas de perdas de solo e de fragilidade ambiental, auxiliam o entendimento sobre o relevo da área.

Para gerar o Mapa hipsométrico - utilizou-se o MDE, seguindo o seguinte caminho: layer propriedades> simbology> classified> color ramp>aplicar.

Para obter as curvas de nível para o mapa topográfico utilizou-se a ferramenta Spatial Analyst Tools>surface>contours. O Relevo Sombreado foi gerado a partir do MDE.

5.3. Elaboração dos Mapas de Perdas de Solo e Sedimentos Exportados

Os Mapas de Perdas de Solo por erosão laminar assim como os Mapas de Sedimentos Exportados foram elaborados com a utilização da Equação Universal de Perda de Solo (USLE).

Para a geração desses mapas foi utilizado o módulo SDR (*Sediment Delivery Ratio*) do programa computacional *InVEST* (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*.

O *InVEST* (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*), em português: Avaliação integrada de Serviços Ambientais e Compensações, foi desenvolvido pelo Natural Capital Project, um programa da Universidade de Stanford (Califórnia-EUA) em parceria com as organizações ambientais *The Nature Conservancy-TNC e World Wildlife Fund-WWF* (TALLIS et al, 2011).

Trata-se de um conjunto de ferramentas de modelagem matemática de serviços ambientais. A ferramenta necessita trabalhar em conjunto com o *ArcGIS*®, software de Sistema de Informação Geográfica. Atualmente o *InVest* dispõe de diversos módulos, tais como retenção de sedimentos, produção de madeira manejada, biodiversidade, polinização, biodiversidade terrestre, armazenamento e sequestro de carbono entre outros (TALLIS et al., 2011).

Para esse trabalho, foi utilizado o modelo de retenção de sedimentos (SDR), que fornece ao usuário uma ferramenta para estimar o potencial de perda de solo e a capacidade de produção e retenção de sedimentos de uma determinada bacia (TALLIS et al., 2011).

A partir da integração de dados morfométricos (declividades e comprimento de rampa – Fator LS), de intensidade das precipitações (erosividade – Fator), propriedades dos solos (erodibilidade) e padrões de uso e ocupação da terra, esse módulo permite calcular a perda de solo média anual de cada parcela de terra, além de determinar o quanto de solo pode chegar a um determinado ponto de interesse, conhecendo a capacidade de cada parcela para reter sedimentos, e, adicionalmente, avaliar o custo de remoção do sedimento acumulado (THOMPSON & FIDALGO, 2013).

Os dados de entrada requeridos pelo *InVEST*, bem como os produtos cartográficos finais foram preparados *no ArcGIS*® 10.1.

Os dados morfométricos (fatores LS) são obtidos automaticamente pelo *InVEST* a partir de MDE (modelo digital de elevação) e, para a presente pesquisa, utilizou-se MDE disponibilizado pelo projeto TOPODATA (Banco de dados geomorfométicos do Brasil)[2].

Os dados referentes à erosividade (Fator R) requeridos pelo *InVEST* devem ser apresentados na forma de um mapa isoerodente, em formato raster. Para a elaboração deste mapa, utilizou-se os dados obtidos referentes a 66 estações pluviométricas na área da UGRHI - 20 e os valores de erosividade foram obtidos através do programa NetErosividade SP (GPRH/UFV – IAC)[3]. O valor do índice de erosividade (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) depende da duração e intensidade da chuva.

Em relação à erodibilidade (Fator K), utilizou-se o mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí UGRHI - 20 (1:500.000), elaborado a partir do Mapa

[2] http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php
[3] http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares

Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al, 1999). O fator K foi atribuído para cada classe de solos de acordo com referências encontradas na literatura (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985; SILVA & ALVARES, 2005 e PULIDO GÓMEZ, 2012), conforme a Tabela 1. O mapa foi convertido para o formato raster e reclassificado com base nos valores de erodibilidade (Mg ha h MJ $^{-1}$ mm^{-1}) para cada tipo de solo. A erodibilidade é determinada pelo potencial de desagregação das partículas constituintes do solo.

Tabela 1 - Valores de erodibilidade dos tipos de solo.

Classes	Valor de k
Argissolo	0,0425
Gleissolo	0,0361
Neossolo	0,0351
Latossolo	0,0162
Planossolo	0,0097

Fonte: Elaborado a partir de Silva & Alvares (2005).

Para os fatores C e P (Uso e manejo do solo e Práticas conservacionistas), utilizou-se o Mapa de Uso e Cobertura da Terra da UGRH 20 (ANA/CBH-AP, 2016), na escala 1:100.000. Os valores dos fatores C e P foram atribuídos de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1985), Sivertun & Prange (2003) e Ribeiro & Alves (2007).

Além do mapa de uso e cobertura da terra em formato raster, o Invest requer também uma tabela em formato CSV com os valores dos fatores C e P para cada categoria de uso e cobertura da terra, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores das variáveis C e P.

LULC	Usle_c	Usle_p
Corpo d'água	0	0
Cobertura arbórea	0,01	0,5
Cobertura herbácea/arbustiva	0,01	0,5
Solo exposto	1	0,5
Área úmida	0	0
Área construída	0,03	0,5

Fonte: Elaborado a partir de Ribeiro & Alves (2007).

5.4. Elaboração dos Mapas de Fragilidade do Relevo, Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente

Para a elaboração dos Mapas de Fragilidade do Relevo, Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente foi necessária a elaboração de mapa clinográfico e o mapa de curvatura do terreno.

Para obter o Mapa clinográfico (declividade) foi utilizado o MDE e foram executados os seguintes passos: Arctoolbox> 3D analyst tools> raster surface> slope. Depois, o produto foi reclassificado de acordo com as classes de declividade sugeridas por Ross (1994).

O Mapa de Curvatura do terreno foi obtido com o uso da ferramenta Spatial analyst tools>surface>curvature, também a partir o MDE. Depois, foi preciso reclassificar em properties>simbology>classified> 3 classes> classify> break values: -0,01, 0 e 0,01.

Após transformar todos os mapas para formato raster, na tabela de atributos de cada mapa foi criada uma coluna referente à Fragilidade e atribuído índices conforme as orientações de Ross (1994) e Pereira e Moroz-Caccia Gouveia (2017), conforme pode ser observado nos Quadros 6 e 7 a seguir:

Classes	**Fragilidade**
Até 6%	1 – Muito fraca
De 6 a 12%	2 – Fraca
De 12 a 30%	3 – Média
De 20 a 30%	4 – Forte
Acima de 30%	5 – Muito forte

Quadro 6 - Valores atribuídos para Mapa Clinográfico.
Fonte: Ross (1994).

Classes de curvaturas	**Fragilidade**
Retilínea	2 - Fraca
Convexa	3 - Média
Côncava	5 – Muito Forte

Quadro 7 - Valores atribuídos para Mapa de Curvatura do Terreno.
Fonte: Pereira e Moroz-Caccia Gouveia (2017)

A partir da sobreposição ponderada do Mapa Clinográfico e Mapa de Curvatura do Relevo, pela ferramenta Weighted overlay (Spatial Analyst Tools> Overlay) considerando ambos com importância igual (50% cada), obteve-se o Mapa de Fragilidade do Relevo conforme pode ser observada na Figura 9.



Figura 9 - Esquema para gerar mapa de Fragilidade Ambiental

Para a elaboração do Mapa de Fragilidade Potencial, realizou-se a sobreposição ponderada do Mapa de Fragilidade do relevo e do Mapa de Solos conforme demonstrado na Figura 10 (OLIVEIRA et al, 1999).



Figura 10 - Esquema para produzir o mapa Fragilidade Potencial

O Quadro 8 apresenta os níveis de fragilidade atribuídos para os tipos de solos.

Solos	**Nível de Fragilidade**
Latossolos Vermelhos Distróficos textura média	Média
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Eutróficos abrúpticos com textura arenosa/média	Forte
Gleissolos Háplicos Eutróficos e Distróficos, textura argilosa	Muito forte (Áreas de Inundação)
Planossolos Háplicos Eutróficos com textura arenosa/média e arenosa/argilosa	

Quadro 8 - Nível de fragilidade para os tipos de solo
Fonte: Adaptado por Paulo Roberto Vágula com base em Ross (1994) e IAC (2006).

Em seguida, a sobreposição ponderada do Mapa de Fragilidade Potencial com o Mapa de uso e cobertura da terra (ANA/CBH-AP, 2016), resultou no Mapa de Fragilidade Emergente (Figura 11):



Figura 11 - Esquema para gerar mapa de Fragilidade Emergente

O Quadro 9 apresenta os níveis de fragilidade atribuídos para as classes de uso e cobertura da terra.

Classes de uso	**Fragilidade**
Cobertura arbórea	1 – Muito Fraca
Cobertura herbácea e arbustiva (pastagem/cana-de-açúcar)	2 – Média
Solo exposto	5 – Muito Forte
Áreas úmidas e corpos d'água	5 – Muito Forte (áreas sujeitas à inundações)
Áreas urbanas	Restrito

Quadro 9 - Valores atribuídos para Uso e Cobertura da Terra.
Fonte: Adaptado de Ross (1994).

5.5. Elaboração do Mapa Síntese de Susceptibilidade à Erosão Pluvial

A sobreposição ponderada do Mapa de Perdas de Solo por erosão laminar e do mapa de Fragilidade Ambiental Emergente referente à suscetibilidade aos processos erosivos lineares, resultou no Mapa de Suscetibilidade à erosão pluvial da UGRHI – 20 como pode ser visualizado na Figura 12.

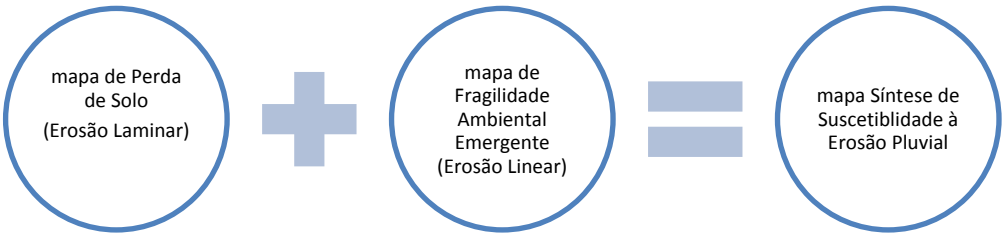


Figura 12 – Esquema para gerar mapa Síntese de Suscetibilidade à erosão Pluvial

6. CARACTERIZAÇÃO DA UGRHI 20

6.1 Meio Físico

Em relação aos aspectos referentes à geologia, de acordo com DAEE/UNESP (1982), na UGRHI-20 predominam rochas sedimentares, de composição principalmente arenosa que pertencem ao Grupo Bauru, representada pelas Formações Adamantina, Santo Anastácio, Marília. Secundariamente, ocorrem rochas básicas do Grupo São Bento, pertencentes à Formação Serra Geral, além de Sedimentos/Depósitos Aluviais Quaternários (argilas, siltes, areias e cascalhos), que estão associados às principais drenagens. O principal reservatório de águas subterrâneas dessa área é o Aquífero Serra Geral, que ocupa toda região oeste e a região central do Estado de São Paulo sendo subjacente ao Aquífero Bauru e recobrindo o Aquífero Guarani. Ocorre também o Aquífero Bauru se estendendo pelas UGRHIs: 15-TG (Comitê de Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande), 18-SJD (Comitê de Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados), 19-BT, 20-Aguapeí (Comitê de Bacia Hidrográfica Aquapeí/Peixe), 21-Peixe (Comitê de Bacia Hidrográfica Aquapeí/Peixe) e 22-PP (Comitê de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema) e parte das UGRHIs 04-Pardo (Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pardo), 08-SMG (Comitê de Bacia Hidrográfica Sapucaí-Mirim/Grande), 12-BPG(Comitê de Bacia Hidrográfica Baixo Pardo/Grande), 13-TJ(Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré), 16-TB (Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha) e 17MP(Comitê de Bacia Hidrográfica Médio Paranapanema). Também encontramos o aquífero Guarani, que ocorre em toda área da Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, abaixo do Aquífero Serra Geral (CBH-AP, 2016-2017).

Geomorfologicamente, de acordo com Ross e Moroz (1997), a UGRHI-20, situa-se majoritariamente no Planalto Centro Ocidental Paulista, com altitudes entre 300 e 600 metros e declividades inferiores a 20%. Graus de dissecação médio a alto são os predominantes nessa região, os vales são entalhados e a densidade de drenagem é de média a alta, resultando num nível de fragilidade potencial médio. Associadas aos principais rios, tais como, Paraná, Aguapeí, Tibiriça, entre outros ocorrem planícies fluviais, que correspondem a formas de relevo agradacionais planas e baixas, com declividades inferiores a 3%.

Conhecer a topografia de um terreno é um dos fatores fundamentais para o planejamento ambiental, pois influencia na agricultura, nas características do solo,

no comportamento hidrológico das águas das chuvas e no transporte de sedimentos. De acordo com Karkee et al. (2008), especificamente na agricultura, a topografia interfere na mecanização das lavouras, nos métodos de irrigação e no transporte de sedimentos contaminados, dessa forma consequentemente afetando o rendimento das culturas, da qualidade do solo e da água.

A análise do mapa topográfico da UGRHI – 20 (Figura 13) possibilita inferir que no Alto Aguapeí, principalmente nas porções leste e sudoeste, o terreno apresenta um relevo mais dissecado em relação ao relevo do Médio e Baixo Aguapeí, pois nessa região é possível notar as distâncias entre as linhas das curvas de nível são menores, indicando regiões mais íngremes.

A análise do mapa hipsométrico (Figura 14) e dos dados apresentados no Gráfico 1 demonstra que as maiores altitudes podem ser encontradas no extremo leste da bacia com valores entre 608,8 – 702 m. Essas altitudes vão diminuindo gradativamente sentido oeste e podemos ver que 35% da bacia apresenta altitudes entre 422,4 a 515,6 m seguida por 46% de altitudes menores com valores entre 329,2 a 422,4 m. A menor altitude encontrada na bacia pode ser vista na foz do Rio Aguapeí no Rio Paraná, com valores entre 236 – 329,2 m, nessa parte, é onde encontramos também as áreas úmidas.

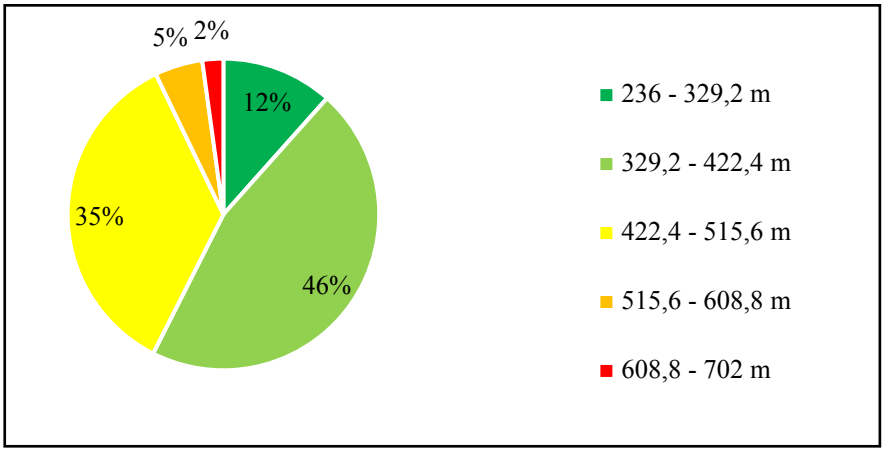


Gráfico 1 - Análise dos dados Hipsométricos da UGRHI – 20.

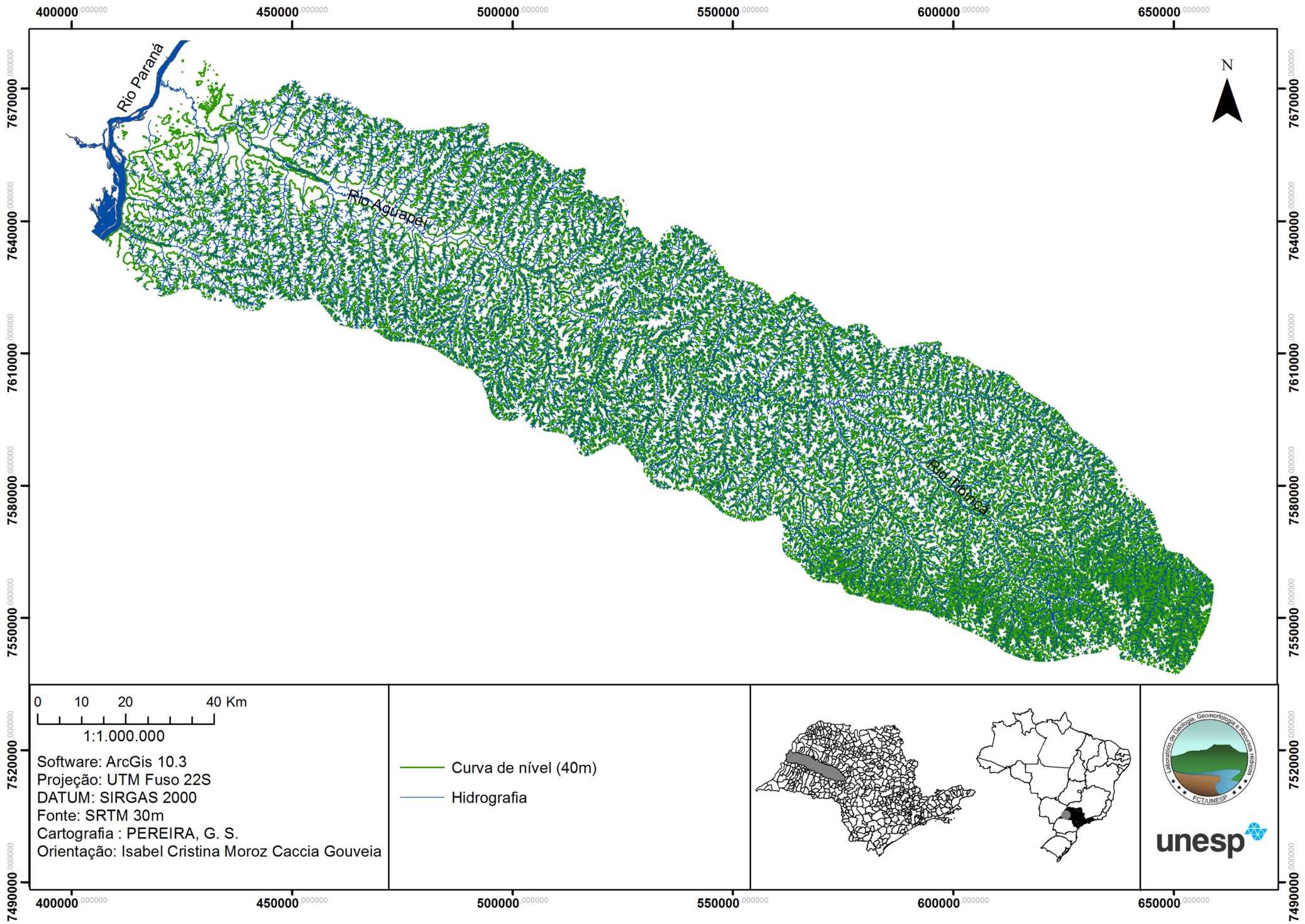


Figura 13 - Mapa Topográfico da UGRHI – 20

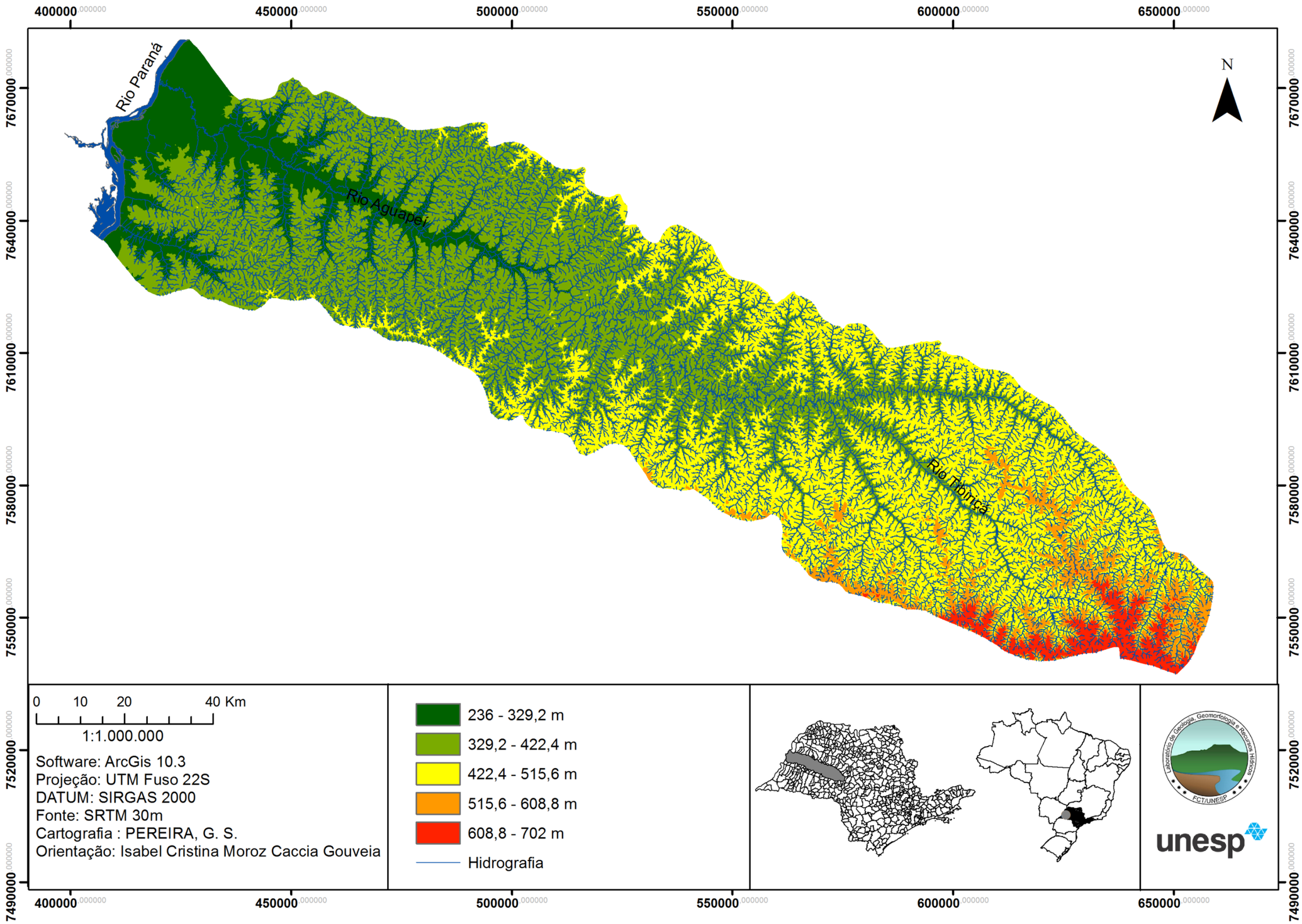


Figura 14 - Mapa Hipsométrico da UGRHI – 20

O mapa de relevo sombreado (Figura 15) é uma representação que nos dá a sensação de visualização em 3D, demonstrando como o relevo se configura nessa região. Estabelecendo o tipo de insolação, seu azimute de incidência e sua inclinação em relação ao horizonte, as regiões que recebem mais luz ficarão mais claras e as em condição de sombra representam as regiões de menor altitude bem como os fundos de vale. Também é possível notar que a orientação da rede de drenagem nessa bacia é melhor destacada e de fácil compreensão.

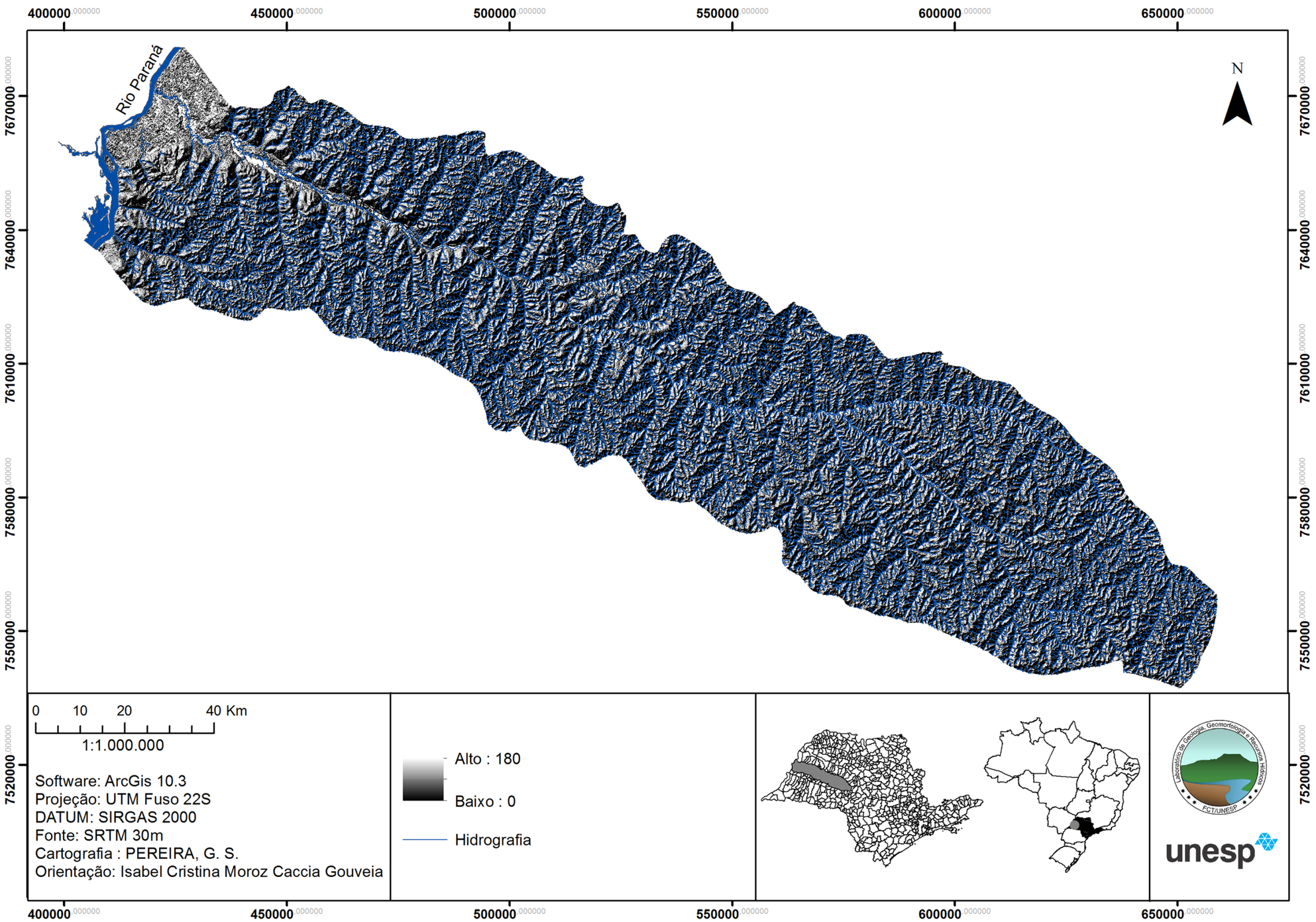


Figura 15 - Mapa de Relevo Sombreado da UGRHI – 20

O principal curso d'água da UGRHI – 20 é o Rio Aguapeí, também conhecido como Rio Feio, que nasce entre os municípios de Gália e Presidente Alves a uma altitude de 600 m (Figura 16). Sua nascente fica bem próxima à rodovia SP – 29. Partindo da nascente faz um trajeto sentido norte até o município de Lins, em seguida ele toma rumo a oeste passando por Luiziânia percorrendo uma distância de 420 km até desaguar no Rio Paraná, entre os municípios de Nova Independência e São João do Pau d'Alho.

Seu principal afluente é o Rio Tibiriçá, que nasce no município de Garça a uma altitude de 480 m. O Rio Tibiriçá parte de sua nascente em direção noroeste do Estado de São Paulo percorrendo um trecho em torno de 90 km até desaguar no Rio Aguapeí já no município de Luiziânia.

De acordo com Suizu (2017, p. 52), o Rio Aguapeí, de canal único, apresenta sinuosidade que varia entre 1,04 a 2,45 configurando alguns setores como tipicamente meandrantes. A autora também destaca que, embora o rio tenha caráter erosivo, apresenta vários setores deposicionais, principalmente na sua foz.

A disponibilidade hídrica superficial da bacia é de 97m^3/s para vazão média ($Q_{médio}$), 28 m^3/s para vazão mínima ($Q_{7,}10$) e para a vazão $Q_{95\%}$ os valores ficam em 41 m^3/s. Já para a disponibilidade hídrica subterrânea, a reserva explotável é de 13 m^3/s.

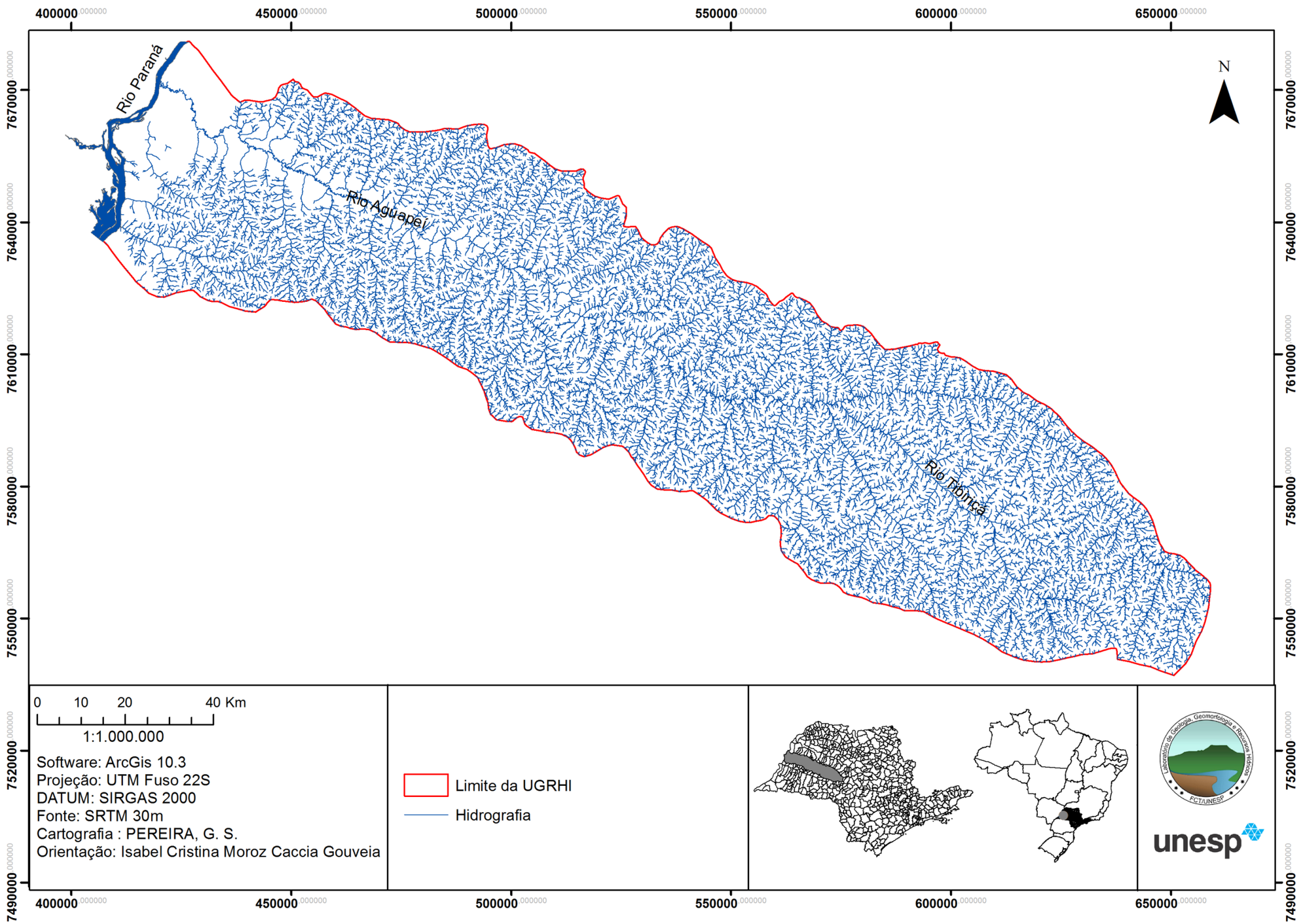


Figura 16 - Mapa Hidrográfico da UGRHI – 20

As cartas clinográficas são importantíssimas para estudos de planejamento. Normalmente esses mapas são conhecidos como mapa de declividade, e são utilizados para avaliar as inclinações do terreno (SANTOS, 2004). De acordo com Santos (2004, p. 83) com esse mapa é possível inferir informações como formas de paisagem, susceptibilidade à erosão, potencialidades agrícolas, possíveis restrições para a ocupação urbana bem como manejos e práticas conservacionistas.

Observando a declividade do terreno (Figura 17), um subproduto importantíssimo para calcular a fragilidade da bacia, nota-se um predomínio dos valores entre 6,01 a 12,00% (fraca) em 44% da área da bacia. Na sequência, observam-se as declividades inferiores a 6% (muito fraca) e no intervalo entre 12,01 a 20,00% (média). Os valores acima de 20% foram pouco expressivos na área dessa bacia como é possível observar no Gráfico 2.

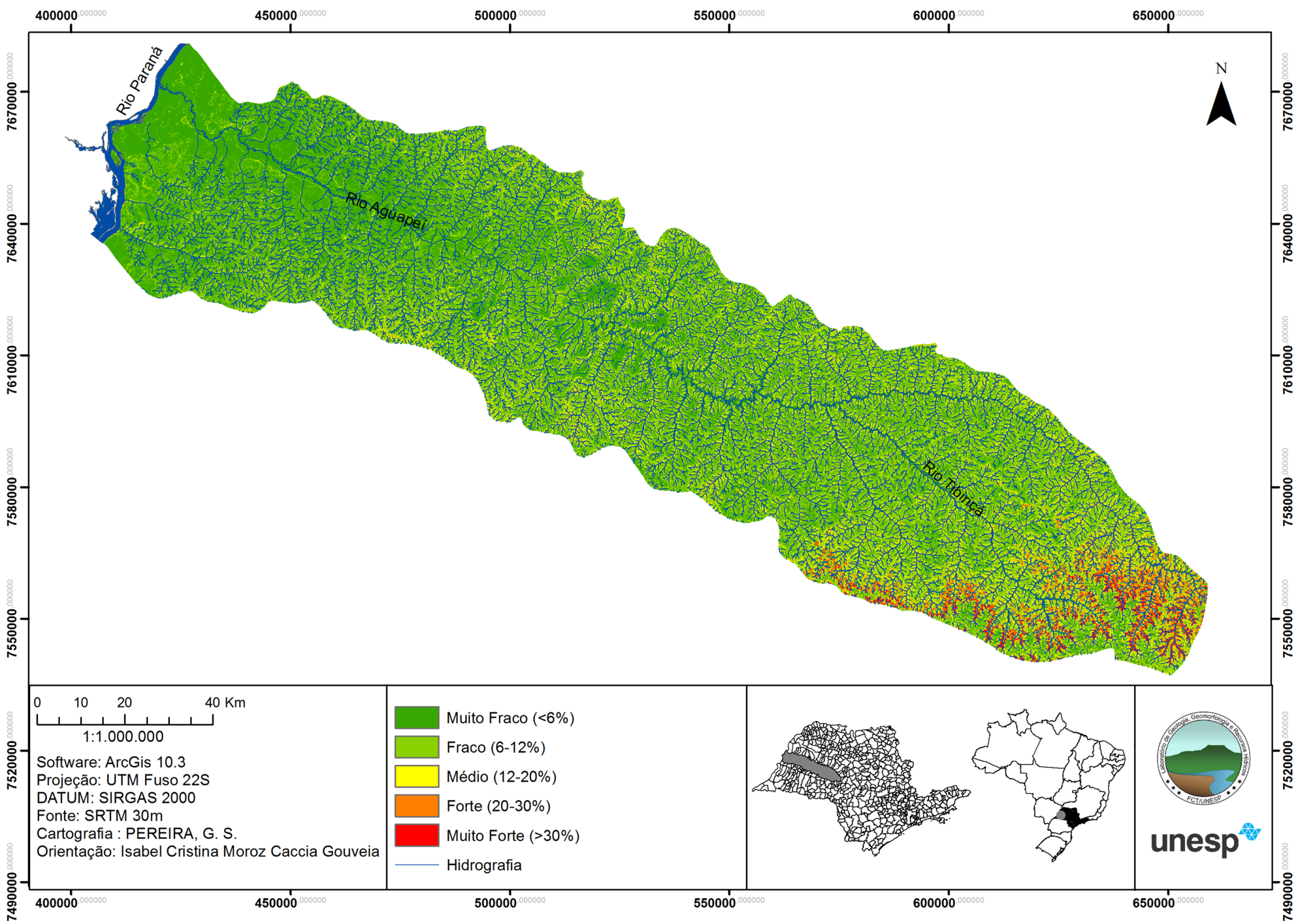


Figura 17 - Mapa Clinográfico da UGRHI – 20

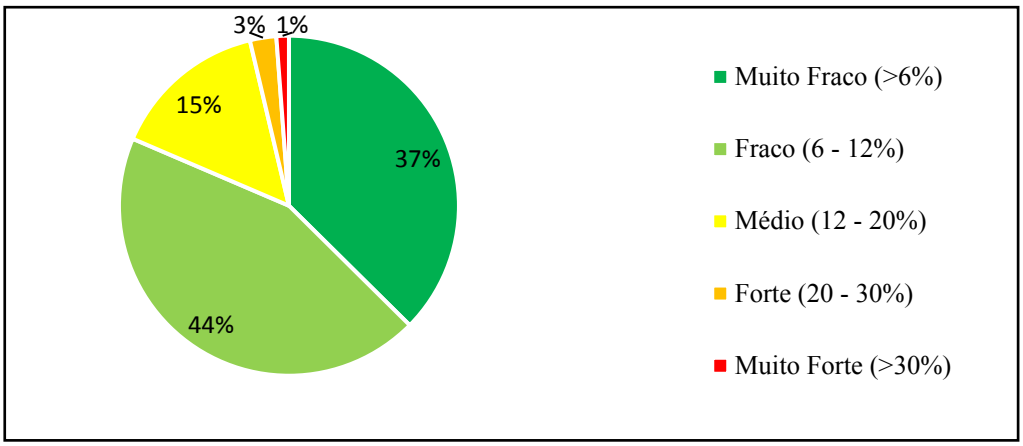


Gráfico 2 - Gráfico de declividades da UGRHI-20.

São as formas das vertentes, côncavas, convexas ou retilíneas que determinarão o tipo de escoamento das águas pluviais. Encostas com contorno convexo geralmente distribuem as águas, enquanto as encostas côncavas são as coletoras e concentradoras de água (WEILL; PIRES NETO, 2007).

Ao observar o relevo da UGRHI – 20 (curvaturas do terreno – Figura 18 e Gráfico 3) nota-se uma distribuição proporcional das vertentes convexas (36%) e côncavas (37%).

Vale destacar que a disposição dessas vertentes também segue uma distribuição proporcional ao longo da bacia. Já em relação a disposição de segmentos retilíneos ao longo da bacia, podemos também dizer que estão bem distribuídos, mas merece destaque para o Baixo Aguapeí.

Nessa região podemos ver que há uma concentração maior desse tipo de morfologia ao longo do leito do canal principal bem como no extremo oeste da bacia já próximo a foz do rio, correspondendo à planície fluvial.

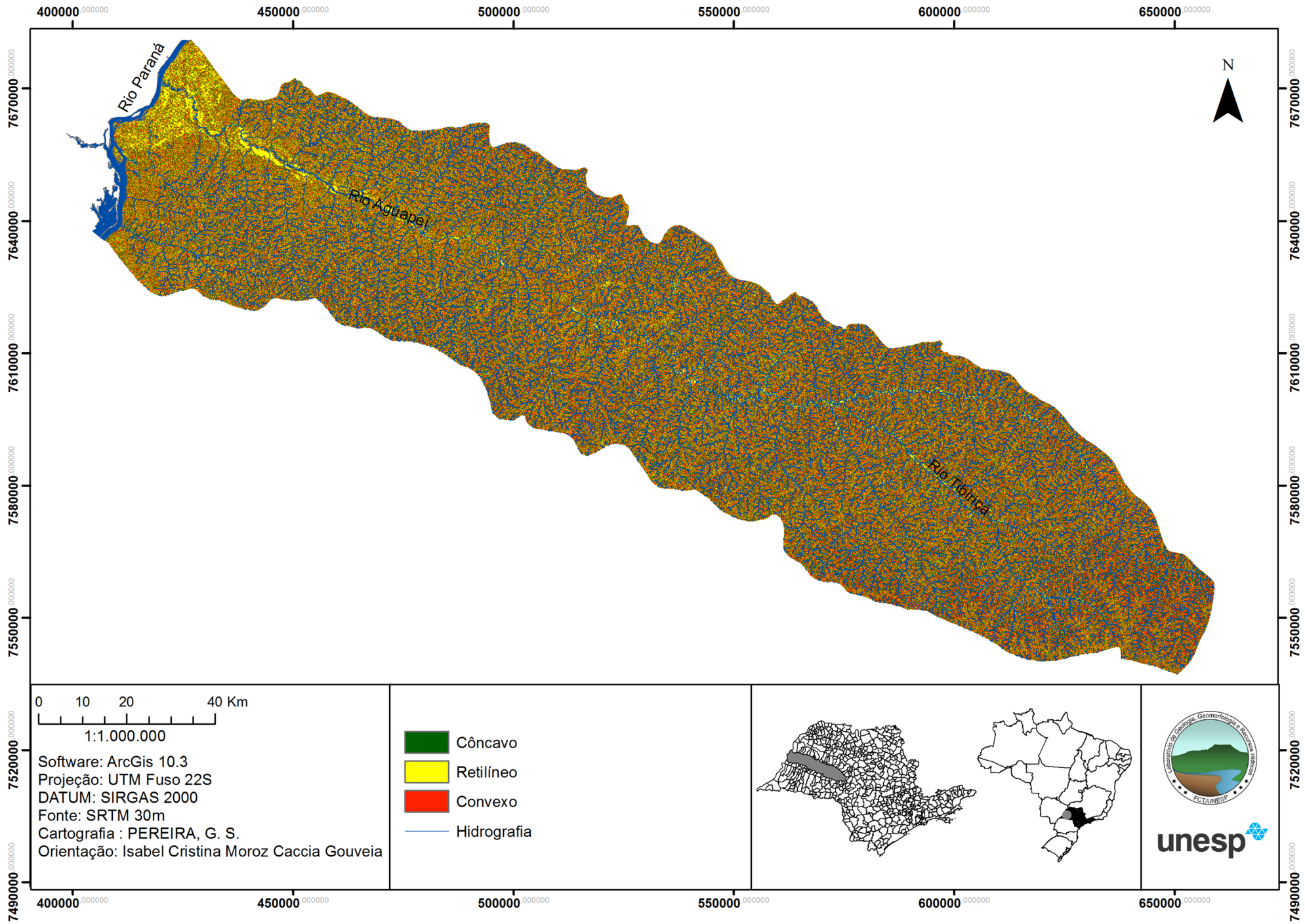


Figura 18 - Mapa de Curvatura da UGRHI – 20

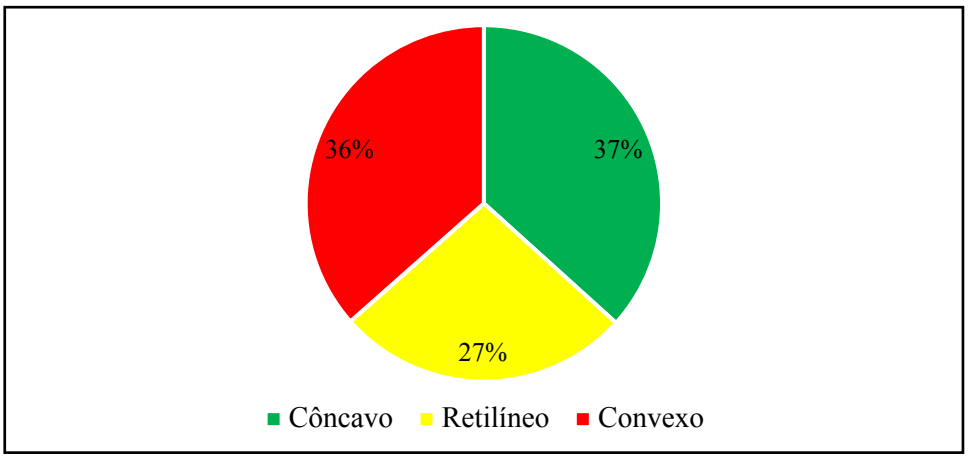


Gráfico 3 - Análise dos dados de curvatura UGRHI – 20.

De acordo com Oliveira et al. (1999), os tipos de solos predominantes na UGRHI-20, são os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Eutróficos abrúpticos ou não, com textura arenosa/média e média e Latossolos Vermelhos Distróficos textura média (CBH-AP, 2016-2017). Ocorrem também, Gleissolos Háplicos Eutróficos e Distróficos, textura argilosa e Planossolos Háplicos Eutróficos com textura arenosa/média e arenosa/argilosa, todos em áreas de planícies fluviais.

Os Argissolos são solos que apresentam gradiente textural entre os horizontes A e B, tornando-os altamente suscetíveis a erosões (CBH-AP, 2016-2017).

Para Santos (2004), compreender os solos da região que está sendo estudada é fundamental para o planejamento ambiental, pois esse serve de suporte aos ecossistemas e as atividades humanas, além de ser uma fonte importantíssima de informações ao analisar as potencialidades e as fragilidades da área. Analisando o mapa de pedológico (Figura 19) e o Gráfico 4, observa-se que predominam na bacia com uma porcentagem de 45% do total da área, os Argissolos, seguido por uma quantidade expressiva (25%) de Latossolos, encontrados principalmente na região do Baixo Aguapeí e distribuídos de forma fragmentada no Médio e Alto Aguapeí. Nota-se ainda a presença de Gleissolos no Baixo Aguapeí, evidenciando a presença de planície fluvial.

Ainda no extremo oeste da bacia, podemos encontrar os Planossolos. Já na região leste da bacia é possível observar pequenos fragmentos de Neossolos. Estes últimos são bastante instáveis, susceptíveis à erosão e carreamento de sedimentos, exigindo práticas conservacionistas para o controle de erosão.

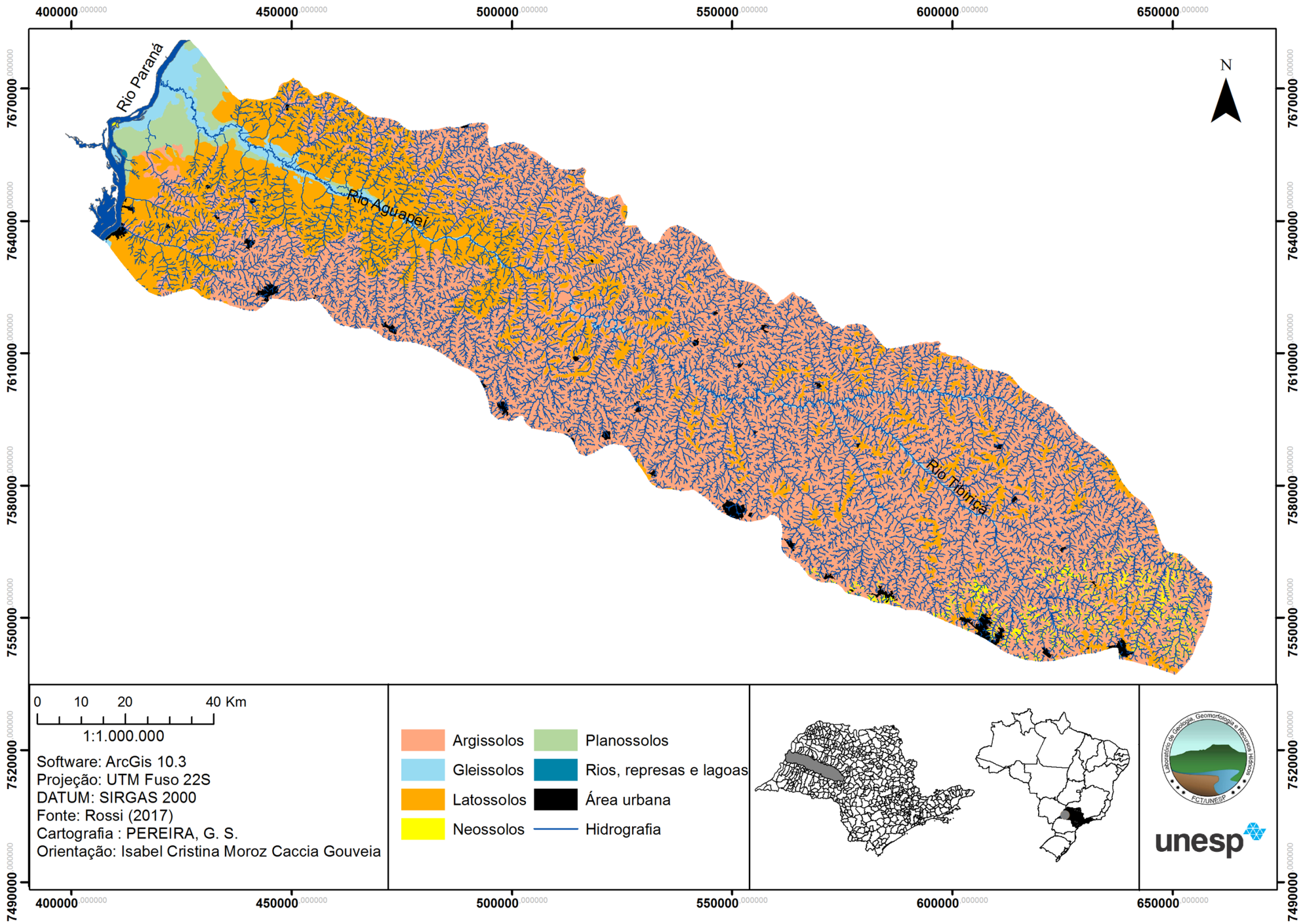


Figura 19 - Mapa Pedológico da UGRHI – 20

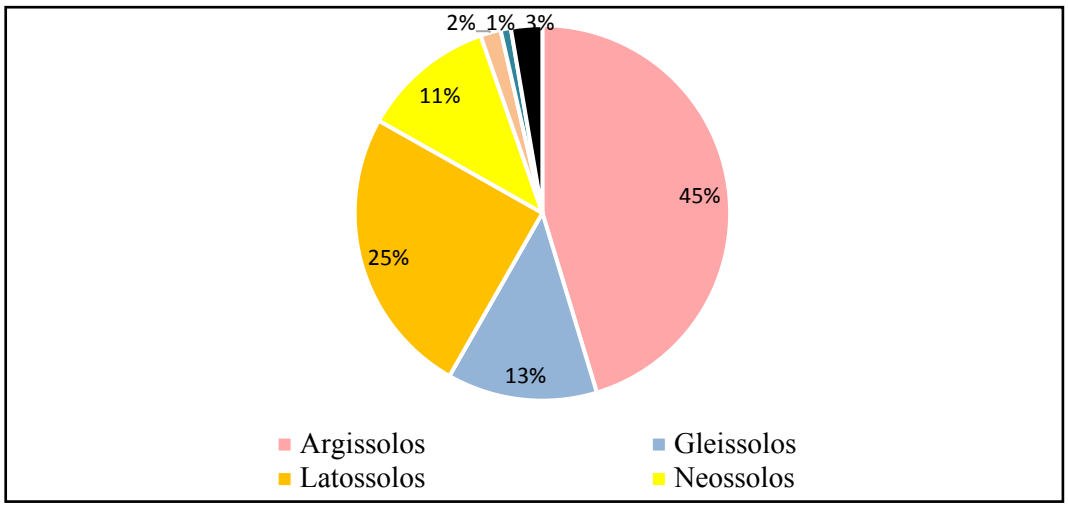


Gráfico 4 - Análise dos dados Pedológicos da UGRHI – 20.

A Figura 20 apresenta os pontos de erosão identificados por (IPT/DAEE, 2012) nas UGRHIs 20 (Aguapeí, ao norte) e 21 (Peixe, ao sul).

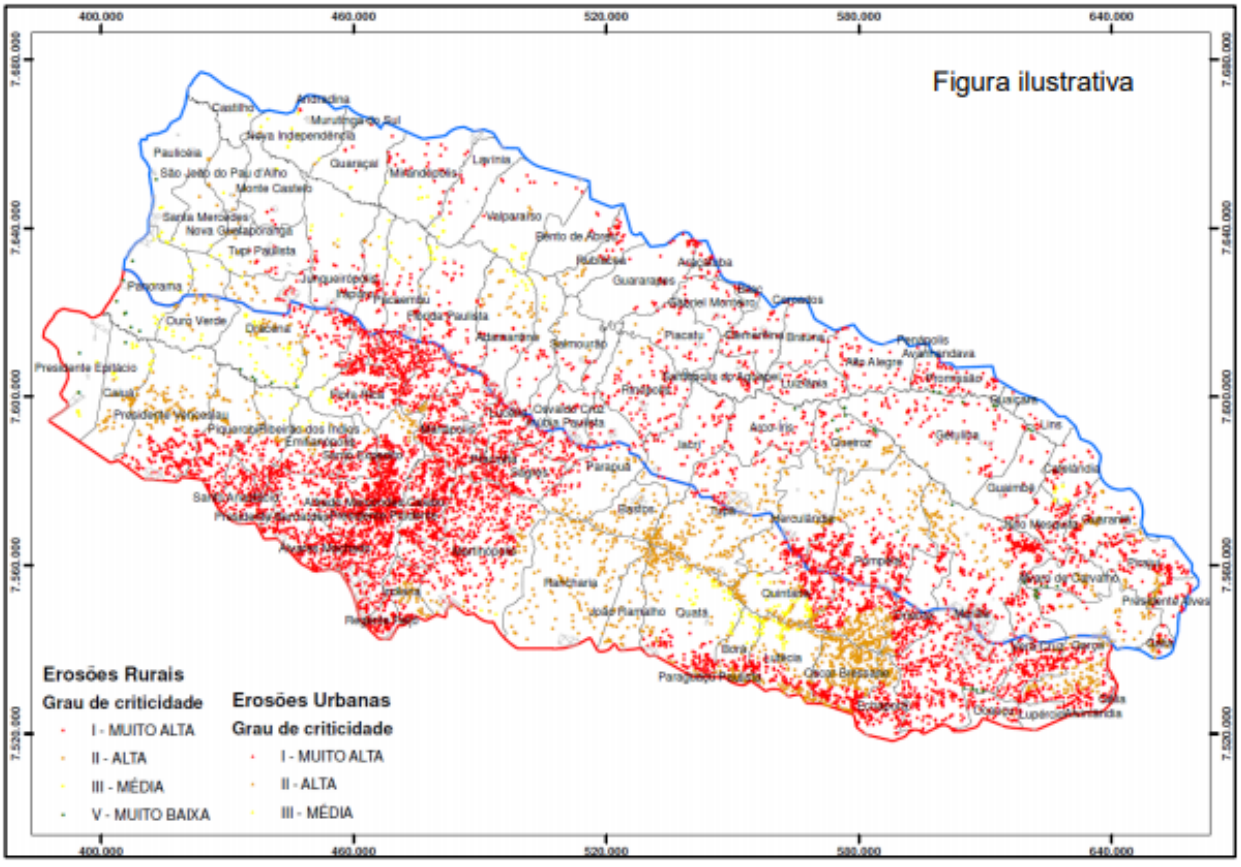


Figura 20 - Mapa de processos erosivos das UGRHIs 20 e 21
Fonte: IPT/DAEE (2012).

De acordo com IPT/DAEE (2012), na UGRHI-20 foram cadastradas 140 erosões lineares urbanas (44 ravinas e 96 boçorocas) e 2.624 rurais (1370 ravinas e 1254 boçorocas). A Tabela 3 apresenta a distribuição, por município, dos processos erosivos lineares, urbanos e rurais, dentro dos limites da UGRHI-20 (CBH-AP, 2016-2017).

Tabela 3 - Processos erosivos por município da UGRHI-20.

Município	Erosões Urbana	Erosões Rurais	Total	Município	Erosões Urbanas	Erosões Rurais	Total
Adamantina	10	65	75	Luiziânia	3	30	33
Alto Alegre	0	43	43	Marília	27	268	295
Álvaro Carvalho	4	63	67	Mirandópolis	0	38	38
Araçatuba	0	21	21	Monte Castelo	1	7	8
Arco Íris	1	53	54	Nova Independência	0	13	13
Bento de Abreu	0	7	7	Nova Guataporanga	1	0	1
Bilac	0	12	12	Oriente	0	3	33
Braúna	0	15	15	Osvaldo Cruz	1	21	22
Cafelândia	0	46	46	Ouro Verde	0	7	7
Castilho	0	1	1	Pacaembu	0	31	31
Clementina	2	32	34	Panorama	1	9	10
Dracena	14	21	35	Parapuã	2	14	16
Flórida Paulista	1	67	68	Paulicéia	0	11	11
Gabriel Monteiro	2	17	19	Piacatu	1	26	27
Gália	0	35	35	Pirajui	0	120	120
Garça	4	57	61	Pompéia	14	238	252
Getulina	3	98	101	Presidente Alves	0	41	41
Guaiçara	0	1	1	Promissão	0	64	64
Guaimbê	1	21	22	Queiroz	1	73	74
Guatantã	0	93	93	Quintana	4	94	92
Guararapes	0	30	30	Rinópolis	2	90	92
Herculândia	2	68	70	Rubiácea	0	38	38
Iacri	1	42	43	Salmorão	1	19	20
Inúbia Paulista	0	1	1	Santa Mercedes	0	7	7
Irapuru	0	47	47	São João Pau D'Alho	1	2	3
Júlio de Mesquita	4	56	60	Santópolis Aguapeí	0	29	29
Junqueirópolis	1	32	33	Tupã	5	59	6423
Lavínia	0	13	13	Tupi Paulista	1	22	23
Lins	0	6	6	Valparaiso	0	27	27
Lucélia	4	26	30	Vera Cruz	6	45	51
				Total	**126**	**2.573**	**2.699**

Fonte: IPT/DAEE (2012).

Quanto ao clima, a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hidrícos do rio Aguapeí se enquadra no tipo climático Aw – tropical chuvoso (KÖPPEN; GEIGER, 1954). Estudos de Sant'Anna Neto e Tommaselli (2009) sobre os principais sistemas atmosféricos existentes nessa região dão destaque para o sistema Tropical Atlântico, que:

> [...] garante tempo estável, temperaturas elevadas, ventos moderados do quadrante leste e baixo teor de umidade do ar. Quando o núcleo do sistema se encontra em latitudes mais baixas, a massa tropical atlântica atinge a região vinda de nordeste e norte, provocando um aumento ainda maior da temperatura e diminuição da umidade. (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009, p. 12)

De acordo com Barrios e Sant'anna Neto (1996), esse sistema Tropical Continental que atua na área promove bastante aquecimento, principalmente na primavera e no verão. Para Sant'anna Neto e Tommaselli (2009) na estação de verão há ainda a presença de uma grande massa Equatorial Continental (mEc) determinando que o tempo seja quente e úmido.

Os índices anuais de erosividade obtidos na pesquisa situam-se entre 5.136 e 7.486 MJ mm (ha h)$^{-1}$. De acordo com Carvalho (2008) são consideradas erosividade moderada a forte, conforme se observa na Tabela 4.

Tabela 4 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual

Erosividade (MJ mm (ha h)$^{-1}$	**Classes de erosividade**
R ≤ 2452	Erosividade Fraca
2452 < R ≤ 4905	Erosividade Moderada
4905 < R ≤ 7357	Erosividade Moderada a Forte
7357 < R ≤ 9810	Erosividade Forte
R > 9810	Erosividade Muito Forte

Fonte: Carvalho (2008)

6.2 Uso e Cobertura da Terra

Destacam-se como principais atividades econômicas nesta UGRHI a agricultura e a pecuária, enfatizando que ocorre no momento a expansão do cultivo de monocultura de cana-de-açúcar. Cerca de 77% da área é ocupada por campo antrópico/pastagem.

Foi a partir da década de 50 na região centro-sul com destaque para o Estado de São Paulo, que o Brasil se destaca na produção canavieira. A partir daí, São Paulo se destaca como o maior produtor entre todos os estados brasileiros e concentra a maior parte de processamento do país para a produção de etanol e açúcar. Dessa forma, essa atividade se torna um dos principais setores da economia para o estado paulista (SHIKIDA; AZEVEDO; VIAN, 2011).

Para Moraes e Zilberman (2014), podemos destacar dois momentos importantes para que esse setor se consolidasse no Brasil. O primeiro momento foi a grande intervenção do Estado Brasileiro no planejamento e gestão nesse ramo – o ProÁlcool em 1975. Essa intervenção estatal de forma massiva e articulada foi decisiva para a expansão e mais que isso, para que o mercado de biocombustíveis brasileiro se consolidasse. O segundo momento que também merece destaque foi a desregulamentação em 1999, dessa forma, o setor canavieiro passa a ter suas atividades sem subsídios das estatais, agora sendo o mercado e suas determinantes importantes para o setor.

De acordo com Abdala e Ribeiro (2011), o momento em que o setor deixa de ser controlado pelas estatais, é o mercado interno e de forma especial o mercado externo que passam a influenciar o setor sucroenergético brasileiro e a partir daí, ainda no ano 2000, a expansão canavieira começa a ocorrer de forma notável. Os autores destacam também que a expansão do mercado canavieiro é determinada tanto pela grande demanda interna do etanol dado ao grande crescimento na produção de veículos flex, quanto pela demanda externa em razão do Protocolo de Kyoto, determinando aos países partes desse tratado uma demanda maior das fontes renováveis e alternativas de energias e consequentemente a elevação do preço internacional do açúcar.

Essa expansão vem causando diversos questionamentos a respeito do setor, que vão desde os impactos socioeconômicos, passando pelos problemas fundiários, segurança alimentar até aos impactos ambientais como problemas hídricos, desmatamentos, erosões, etc. (GILIO, 2015).

Na Figura 21 podemos ver como se deu a expansão no plantio de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo desde 1995 até 2013 e observar como aconteceu de forma significativa no Oeste Paulista, onde está inserida a UGRHI-20.

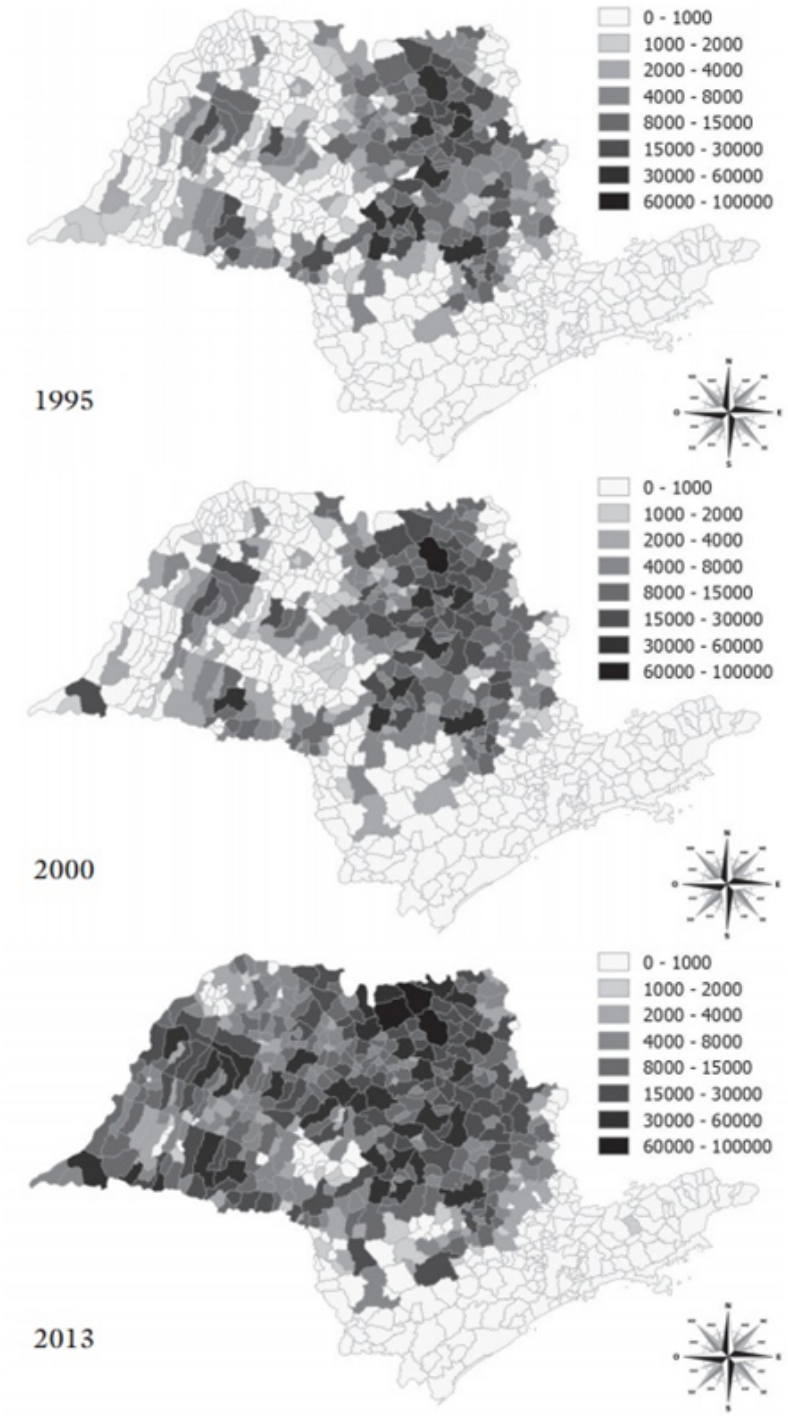


Figura 21 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, para 1995, 2000 e 2013 – em hectares por município. Fonte: PAM/IBGE (2015).

Além da monocultura de cana de açúcar, há também áreas de cultivo de café e milho (CBH-AP, 2016-2017). Vale também ressaltar que, a exploração mineral

da areia nos afluentes do Rio Aguapeí, bem como no Rio Tibiriçá e também Ribeirão Caingangue favoreceu a instalação de um número considerável de olarias, se estendendo principalmente ao longo do Rio Paraná nos municípios que o margeiam (CBH-AP, 2016-2017). Nas áreas urbanas, destacam-se os setores de serviços e comércio como geradores da economia regional.

O mapa de Uso e Ocupação da Terra (Figura 22) apresenta informações relativas às atividades antrópicas e cobertura vegetal. Esses dados são importantíssimos para determinar a fragilidade emergente da bacia hidrográfica, uma vez que a ação antrópica altera os processos naturais do ambiente. Avaliar a influência da cobertura vegetal natural na estabilidade das vertentes não é uma tarefa tão simples assim, mas alguns aspectos podem ser levados em consideração na análise da estabilidade das vertentes, sejam eles a resistência do sistema solo-raiz, peso da cobertura vegetal, efeito de “atirantamento” e força de arrasto do vento sobre as copas das árvores (FIORI; CARMIGNANI, 2001). A cobertura vegetal também é fundamental para minimizar o impacto das gotas de água da chuva, dessa forma impedindo a desagregação das partículas e propiciando o aumento da porosidade do solo bem como impedindo sua compactação e aumentando a capacidade de infiltração da água da chuva. Dessa forma, o escoamento superficial é diminuído consideravelmente, permitindo que as comunidades biológicas mantenham suas relações e por fim influenciarem na permeabilidade e porosidade do solo. Dessa forma, podemos concluir que a cobertura do solo está diretamente relacionada com sua capacidade de proteção. (BERTOL et al., 2007).

Conforme se observa na Figura 22 e no Gráfico 5, praticamente ¾ da UGRHI - 20 apresenta cobertura herbácea arbustiva, que de acordo com o proposto por Ross (1994) representa um grau de fragilidade fraca. Entretanto, no oeste do Estado de São Paulo essas áreas podem ser compreendidas como áreas de pastagem ou plantação de cana de açúcar, pois essas atividades aumentaram muito nos últimos tempos. Diante do exposto, atribuiu-se nível de fragilidade média e podemos então inferir que a bacia hidrográfica quase em sua totalidade merece atenção, pois 11% da área apresenta solos expostos com um grau de fragilidade considerado muito forte. Provavelmente também correspondem a áreas de culturas temporárias.

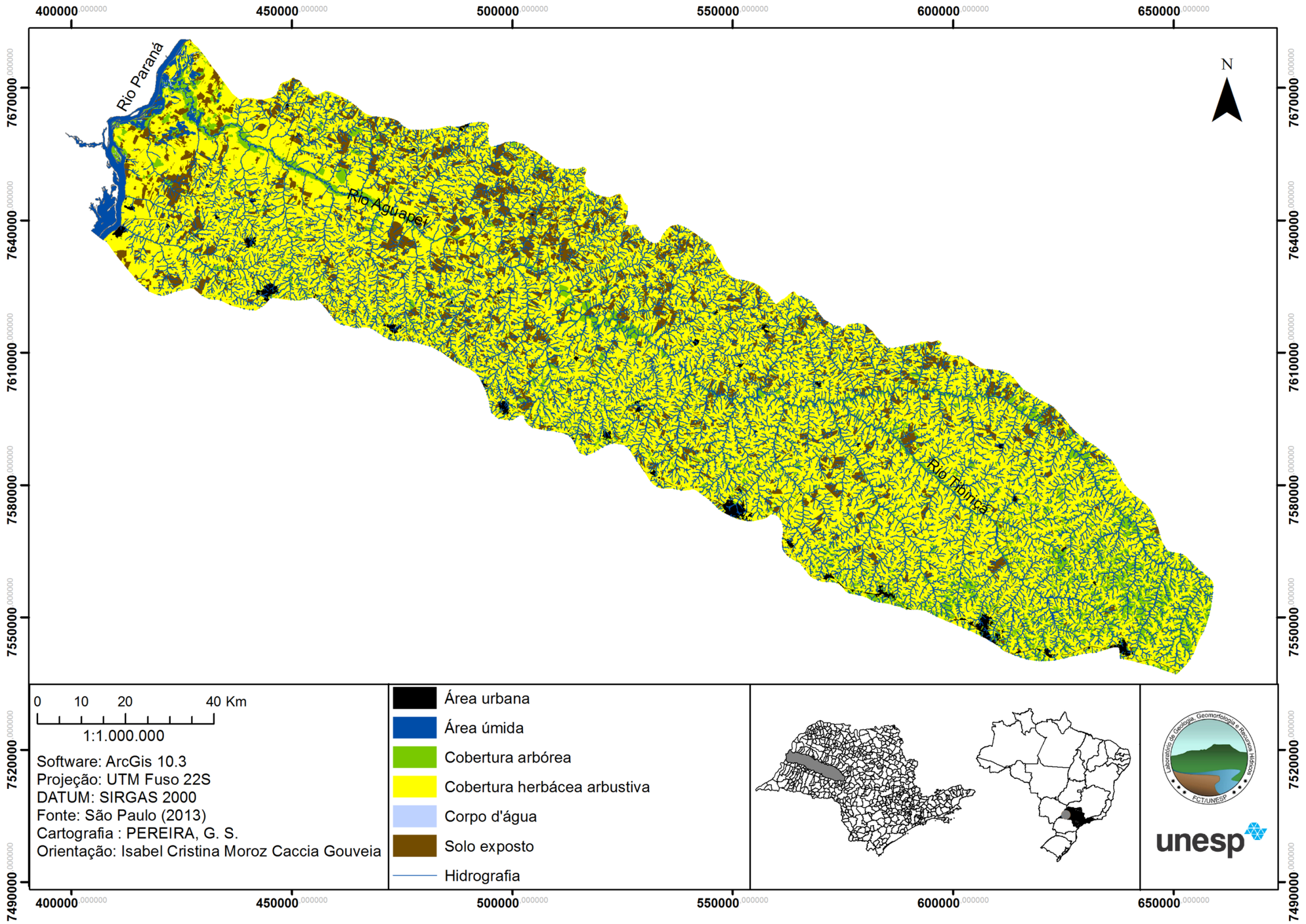


Figura 22 - Uso e Ocupação do Solo da UGRHI – 20

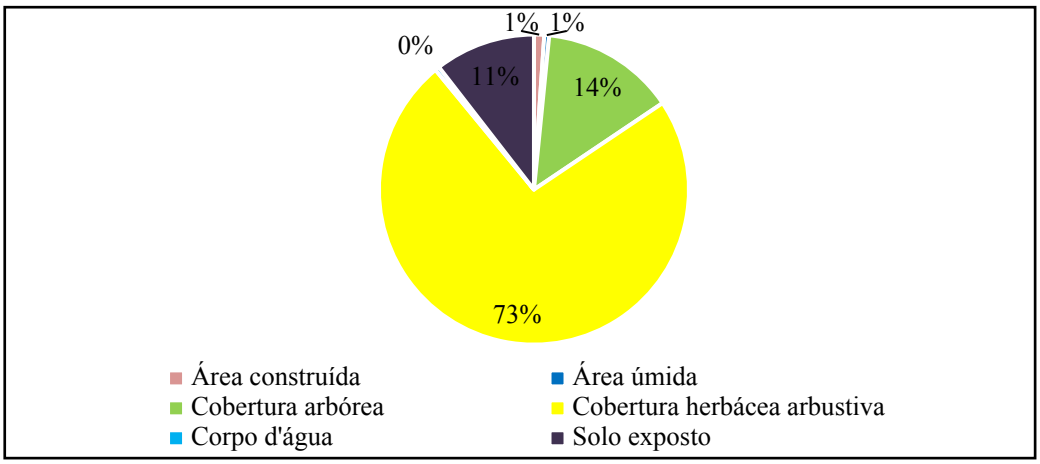


Gráfico 5 - Distribuição das classes de uso e ocupação da terra da UGRHI – 20.

A área apresenta 857 km^2 de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 6,5% da bacia da UGRHI. Podemos destacar a Floresta Estacional Semidecidual e Formação Arbórea/Arbustiva como vegetação de maior ocorrência e que se encontra principalmente em Região de Várzea (CBH-AP, 2016-2017).

Em relação às áreas protegidas, apresenta as Unidades de Conservação de Proteção Integral Parque Estadual do Aguapeí e Parque Estadual do Rio do Peixe; Unidades de Conservação de Uso Sustentável RPPN Foz do Rio Aguapeí e Trilha Coroados; Terras Indígenas Vanuiere. (CBH-AP, 2016-2017).

6.3. População e crescimento populacional

De acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica do Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP), as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Aguapeí (UGRHI-20) e Peixe (UGRHI-21) possuem uma área total conjunta de 23.965 km² e são compostos por 59 municípios que possuem sede nas UGRHIs. Sua população total, segundo dados do SEADE, 2015 é de 826.550 habitantes, isto representa um total de 2% do montante de todos habitantes do Estado de São Paulo, e, caracteriza-se por um perfil basicamente urbano, totalizando 749.829 moradores na região urbana enquanto os moradores de regiões rurais representam apenas 76.721 habitantes. A taxa de urbanização média das UGRHIs está próxima a 90%. Nos últimos anos, o crescimento demográfico no Estado, em especial nos ambientes urbanos, favoreceu o agravamento da poluição doméstica com seus resíduos sólidos e esgotos manejados de forma muitas vezes,

inadequados e impróprios e a poluição industrial das águas, tem resultados em gravíssimos prejuízos para a comunidade com um todo (TUCCI, 2006).

O Plano de Bacia Hidrográfica do CBH-AP destaca também que a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Aguapeí (UGRHI-20) possuía em 2015 um total de 369.412 habitantes, representando 0,91% do total do Estado de São Paulo, conforme dados do SEADE, 2015. Os dados populacionais por município confirmam claramente que o polo regional da Bacia continua sendo Tupã, com 63.111 habitantes e 17% do total da UGRHI - 20, no ano de 2015. Em segundo lugar está Garça, com 42.769 habitantes e Dracena com 44.247 habitantes, ambos representando 12% do total da UGRHI. Os três municípios citados (Tupã, Garça e Dracena) juntos, totalizam 41% do total de habitantes da UGRHI. Após esses três municípios, Pompéia é o município que contem maior número de habitantes, com 20.650, representando 6% do total da UGRHI.

Por outro lado, no mesmo Plano de Bacia Hidrográfica CBH-AP podemos ver que em 2015, os municípios da UGRHI-20 que possuíam o menor número de habitantes (menos que 5.000 habitantes) são: Álvaro de Carvalho (4.843), Arco Íris (1.857), Gabriel Monteiro (2.702), Júlio Mesquita (4.524), Monte Castelo (4.017), Nova Guataporanga (2.186), Nova Independência (3.429), Queiroz (3.044), Salmourão (4.960), Santa Mercedes (2.816), Santópolis do Aguapeí (4.482) e São João do Pau d'Alho (2.037). Estes municípios, juntos, totalizam 11% do total de habitantes da bacia estudada.

Quando analisada a concentração de população por sub-bacias, pode-se observar no Gráfico 6 que o Médio Aguapeí é a sub-bacia que concentra a maior parte da população, representando 49,3% do total da UGRHI. É nessa sub-bacia que está localizado o município de Tupã, além de mais 15 municípios.

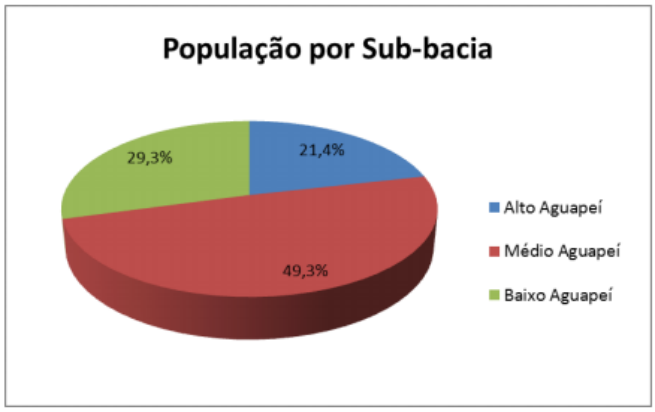


Gráfico 6 - População total em 2015 nas Sub-bacias da UGRHI-20.
Fonte: Seade, 2015.

É importante para estudos sobre demanda de água, identificar onde existe uma tendência de concentração com um aumento taxa geométrica de crescimento populacional anual (TGCA) na UGRHI-20 e de cada município que faz parte dela, bem como identificar onde houve estagnação do crescimento populacional e até mesmo perda de população. Pode-se observar que o crescimento populacional da UGRHI-20 é constante em todos os municípios. Desde o decênio 2002-12 até 2005-15 os municípios se encaixam no mesmo intervalo de faixa de TGCA. Somente o município de Santa Mercedes, que se classificava em 2002-12 entre 0 e 0,6, passou a se classificar com valores abaixo de 0. Em todos os períodos o município de Nova Independência é o que cujo padrão de crescimento ultrapassa 3%, porém, desde 1999-2009 essa taxa vem declinando, chegando no decêndio de 2005-2015 a ter valor de 3,03%, enquanto no primeiro decêndio seu valor era de 3,65% (CBH-AP, 2016-2017).

Os dados consolidados referentes a assentamentos rurais que estão disponíveis no site do INCRA – Ministério do Desenvolvimento Agrário indicaram que a Bacia do Aguapeí tem um total estimado de 925 pessoas, correspondendo a 185 famílias que se estabeleceram em igual número de lotes agrários. Quando se relaciona o total de residentes assentados com o total de população da UGRHI-20 no ano de 2015, verifica-se que esta representa apenas 0,2% da população (CBH-AP, 2016-2017).

No ano de 2010, o Estado de São Paulo tinha 1.675.477 pessoas vivendo na área rural. Desse total 2,41% pertenciam à UGRHI-20 e, em 2015, o Estado registrou 1.863.217 habitantes rurais, sendo que a UGRHI-20 era responsável por 1,99%. Para se ter um melhor entendimento do comportamento da população rural nessa porção do território paulista, foi necessário conhecer o número que famílias que foram assentadas no Aguapeí. (CBH-AP, 2016-2017).

Essas informações são disponibilizadas no site do INCRA (o número de lotes/ famílias assentadas, a área ocupada em km² e os municípios receptores), conforme indicam os dados na Tabela 5.

Tabela 5 - Assentamentos rurais na UGRHI 20.

Municípios	**Assentamentos (2014)**	**Nº de lotes / famílias**	**Área (ha)**	**População Estimada***
Getulina	PA Simon Bolivar	37	768,38	185
Paulicéia	PE Fazenda Buritis	54	2209,5	270
	PA Fazenda Santo Antonio	30	332,4	150
	PA Fazenda Regência	33	709,1	165
Tupi Paulista	PE Santa Rita	31	749,6	155
Total UGRHI 20		**185**	**4.768,8**	**925**

Fonte: (CBH-AP, 2016-2017). Notas: (*) População estimada: 1 família constituída por 5 pessoas, conforme orientação do ITESP

Desde 1983, quando se iniciaram os assentamentos no Estado de São Paulo, até o ano de 2015, no território da UGRHI-20 foram assentadas 185 famílias que correspondem a aproximadamente 925 pessoas. Foram utilizados aproximadamente 4.768,8 hectares para assentar as famílias rurais, correspondendo a 0,36% do total da área da UGRHI-20, que é de 13.196 km². Quando se compara a população do meio urbano com o meio rural, nota-se, que cerca de 89,95% dos habitantes da UGRHI-20 estão circunscritas aos perímetros urbanos. Conhecer como se dá a urbanização, bem como seu ritmo de crescimento é de suma importância, pois a medida que a urbanização e o crescimento econômico aumentam, a demanda e as disputas por recursos naturais acompanham esse crescimento.

Também vale destacar que, à medida que as cidades crescem, aumenta também áreas que são impermeáveis à água, aumenta a produção de resíduos sólidos e de sedimentos, que por sua vez, acabam escoando para a drenagem contribuindo em muito para os riscos de poluição e contaminação. De acordo com o Comitê de Bacia Aguapeí-Peixe, isso foi detectado como perfil do que vem ocorrendo nessa bacia e nos seus municípios no período que foi analisado esse crescimento populacional (CBH-AP, 2016-2017).

7. EROSÃO LAMINAR NA UGRHI 20

7.1. Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20

Ao analisar a Figura 23 e o Gráfico 7, é possível verificar que mais da metade da área estudada, ou seja, 59% da UGRHI-20 apresenta uma estimativa de perda de solo com valores superiores a 100 toneladas por hectare por ano, seguida de 14% de área perdendo entre 50 a 100 toneladas por hectare ao ano e também 14% de área com estimativa de perdas compreendidas nos valores entre 20 a 50 toneladas por hectare ao ano.

Esse resultado pode ser explicado pela presença predominante de Argissolos que ocupam mais de 45% da área, pela presença de culturas temporárias como a cana de açúcar e pastagens e os índices de erosividade moderados a altos.

Na tabela 6 podemos ver como que as perdas de solo na UGRHI – 20 se distribuem de acordo com o que é proposto pela *Food and Agriculture Organization of United Nations*.

Tabela 6 - Classes indicativas de perda de solo na UGRHI – 20.

Classes de perda de solo	Área (%)
Baixa (0 - 10 $t.ha^{-1}$ $.ano^{-1}$)	7
Moderada (10 - 50 $t.ha^{-1}$ $.ano^{-1}$)	20
Alta (50 - 200 $t.ha^{-1}$ $.ano^{-1}$)	73
Muito alta (> 200 $t.ha^{-1}$ $.ano^{-1}$)	-
Total	100

Fonte: (FAO, 1965)

É recomendado pela *Food and Agriculture Organization of United Nations* limites de perda de 12 $t.ha^{-1}$ ano^{-1} para solos profundos e bem drenados e perdas entre 2 a 4 $t.ha^{-1}$ ano^{-1} para solos rasos de baixa permeabilidade (FAO, 1965).

Wischmeier & Smith (1978) definiram para os Estados Unidos da América valores de tolerância compreendidos entre 4,5 $t.ha^{-1}$ ano^{-1} a 11,5 $t.ha^{-1}$ ano^{-1}.

Podemos observar que na UGRHI – 20 os valores encontrados estão muito acima do que foi recomendado pela FAO (1965) e por Wischmeier & Smith (1978), pois 73% da bacia se enquadra na classe indicativa “Alta” com valores entre 50 – 200 $t.ha^{-1}$ ano^{-1}.

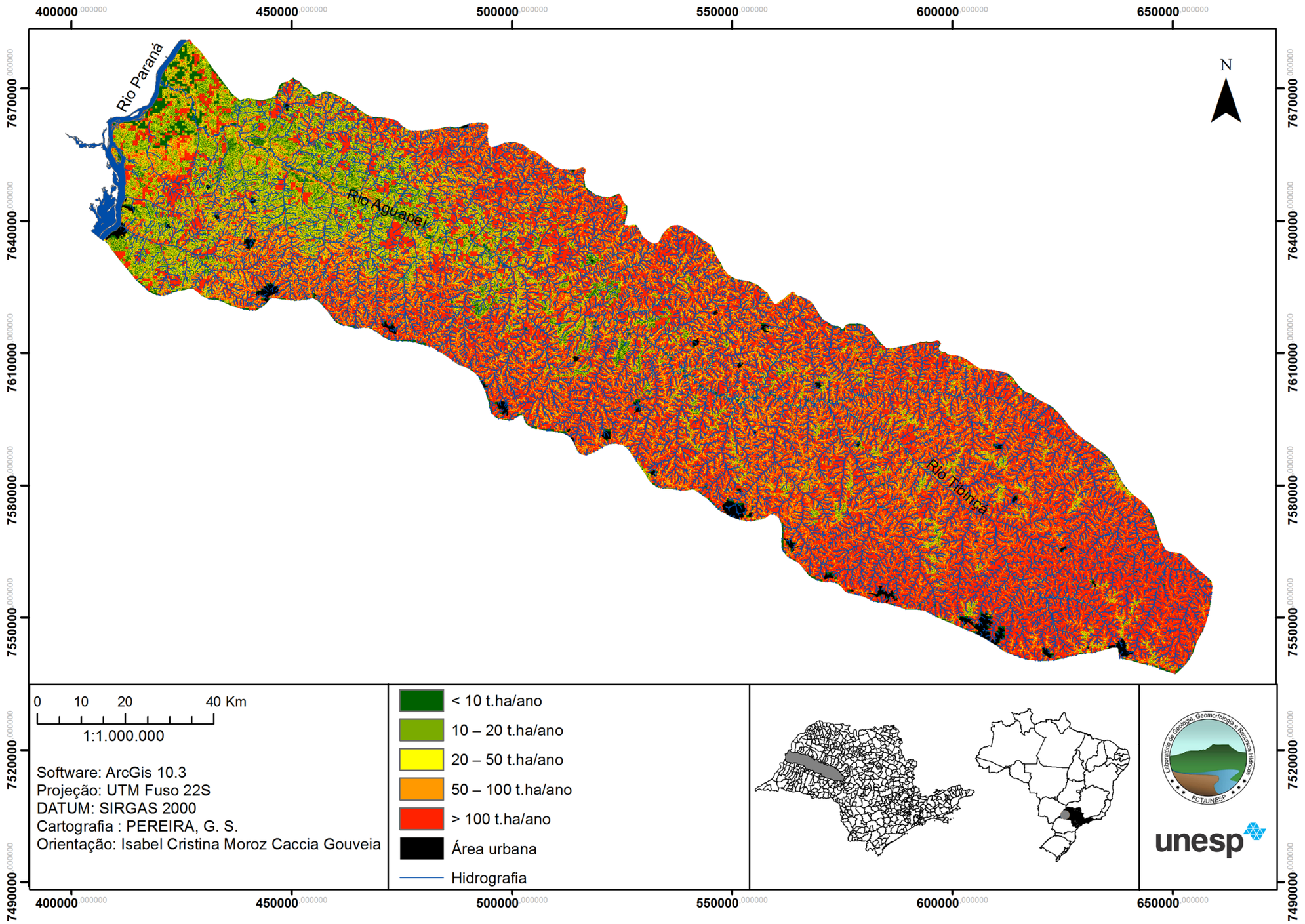


Figura 23 – Mapa de Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20

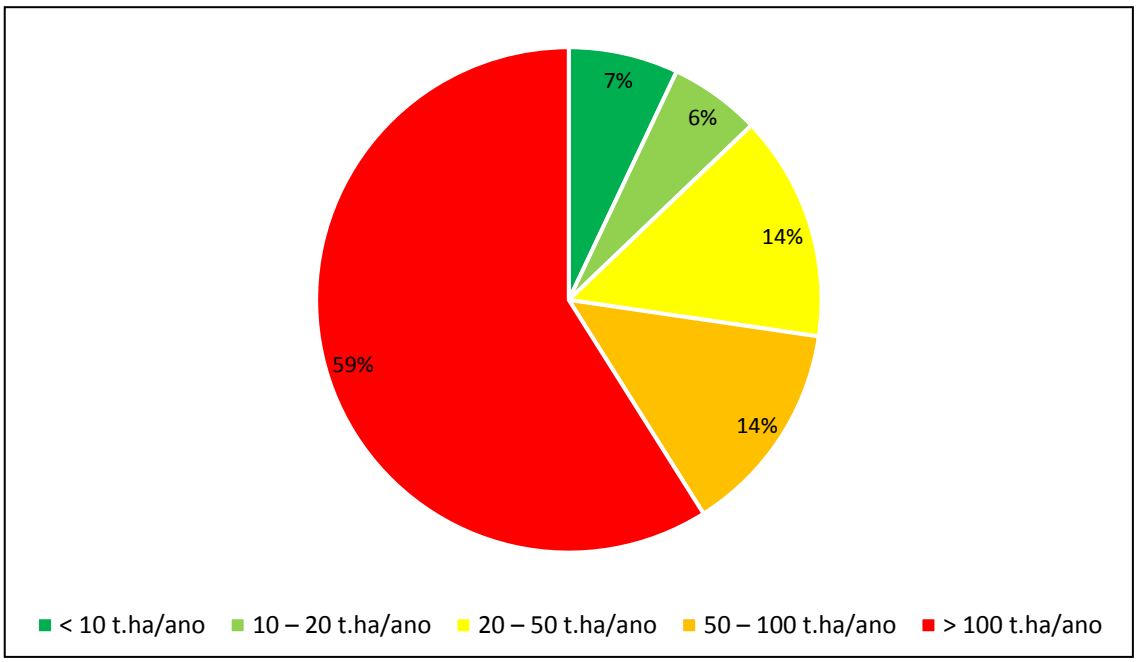


Gráfico 7 - Estimativas de Perda de Solo na UGRHI – 20.

7.2. Perdas de Solo por Sub-bacias na área da UGRHI - 20

Ao analisarmos a estimativa de perdas de solo por sub-bacia (Figura 24), podemos perceber que dentro da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos do rio Aguapeí (UGRHI – 20) o trecho denominado como Alto Aguapeí é o que apresenta maior índice de perda de solo, estimada em 8932,53 toneladas ao ano. A segunda maior perda pode ser observada no Médio Aguapeí com valores de 5362,79 toneladas por ano. Considerando toda área estudada, podemos concluir que as menores perdas se encontram no Baixo Aguapeí, com valores em 2037,65 toneladas ao ano.

Tal fato pode ser explicado quando se analisa o relevo pois o Alto Aguapeí apresenta um relevo mais dissecado em relação ao Médio Aguapeí.

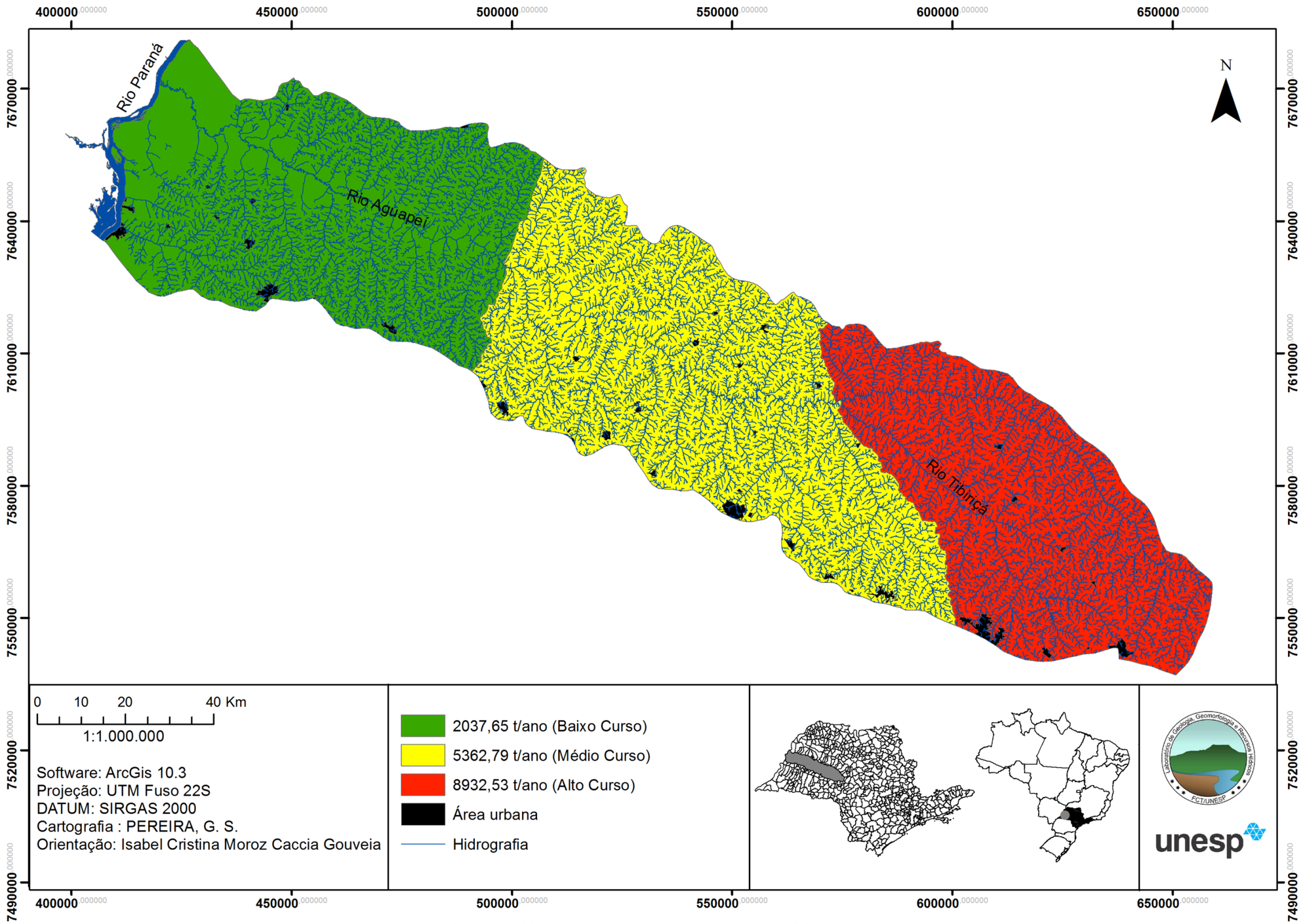


Figura 24 - Mapa de perda de solo por sub-bacia na UGRHI - 20

7.4 Sedimentos Exportados na UGRHI - 20

Na UGRHI – 20 no que se refere à exportação de sedimentos (Gráfico 9 e Figura 26) há grande predomínio das baixas taxas de exportação de sedimentos. O maior percentual (80%) corresponde às áreas em que a exportação se situa entre 0 a 10 toneladas por hectare ao ano. Na sequência, temos as áreas que exportam sedimentos na ordem de 10 a 20 toneladas por hectare ao ano, correspondendo a 6% da bacia estudada. As altas taxas de exportação, que totalizam em torno de 8% da área de estudo, concentram na região do médio Aguapeí.

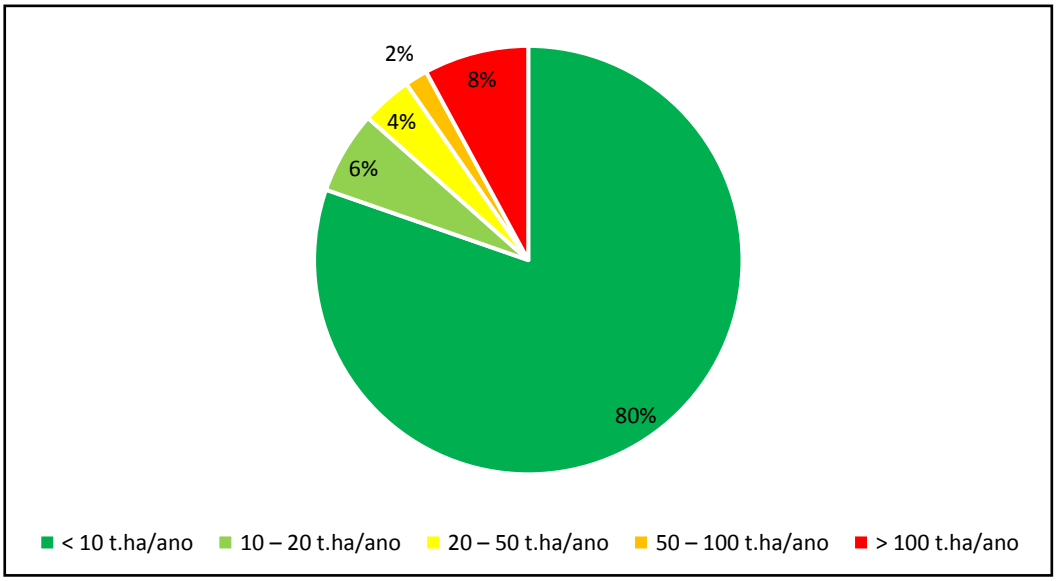


Gráfico 8 - Sedimentos exportados na UGRHI - 20.

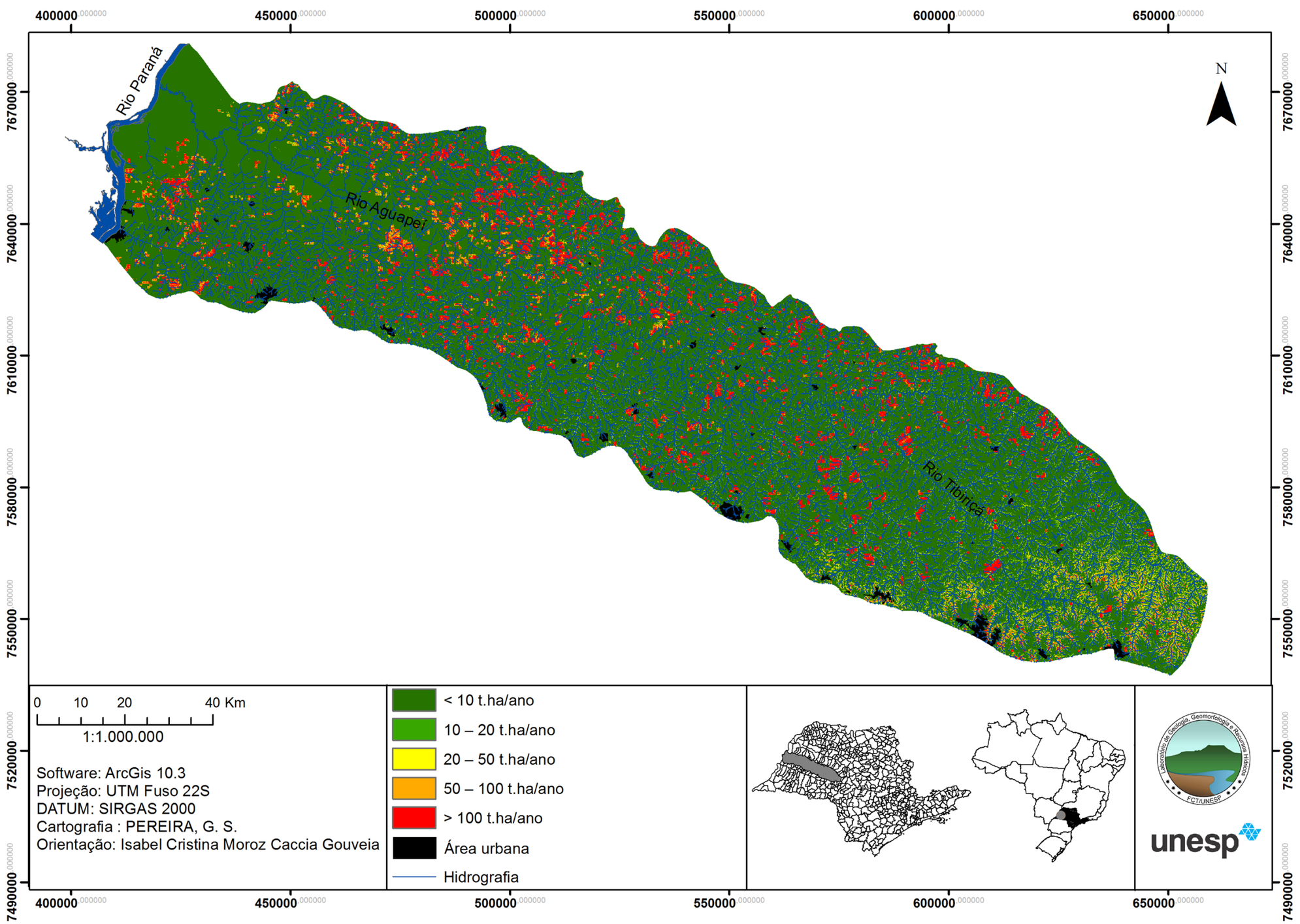


Figura 25 – Mapa de Sedimentos exportados na UGRHI - 20.

8. FRAGILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES

8.1 Fragilidade do Relevo

Analisando o Mapa de Fragilidade do Relevo (Figura 27) e o Gráfico 10, podemos verificar que mais da metade da bacia, ou seja, 56% da área apresenta fragilidade de relevo de nível médio, seguida de 30% por uma fragilidade forte. Podemos verificar então que, praticamente quase toda a bacia (mais de 80%) pode ser classificada com fragilidade de média a forte no quesito relevo, merecendo uma atenção especial.

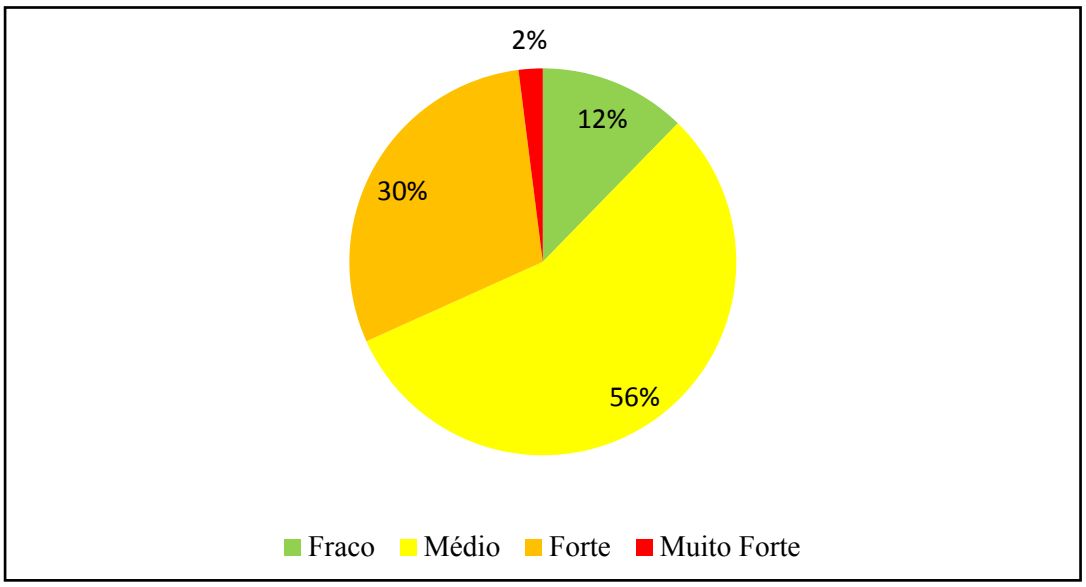


Gráfico 9 - Distribuição das classes de Fragilidade do Relevo

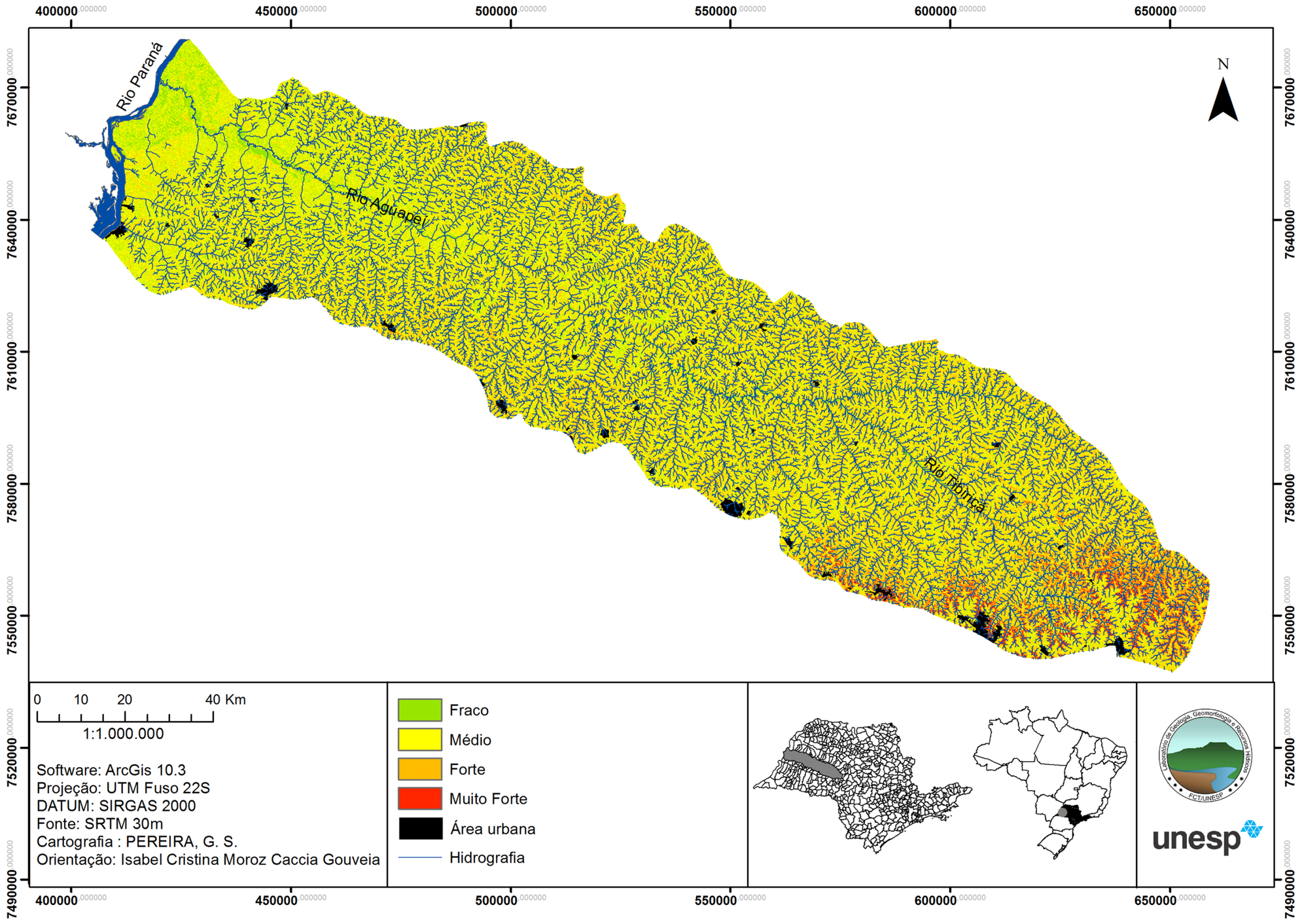


Figura 26 – Mapa de Fragilidade do Relevo da UGRHI - 20

8.2. Fragilidade Potencial

Aqui é importante destacar que, para gerar o mapa de fragilidade potencial (Figura 28) não foi considerada nenhuma ação antrópica, apenas os atributos naturais do ambiente.

No Gráfico 11 é possível observar que em pequena parte do Alto Aguapeí, a fragilidade é considerada “muito forte”, mas aqui o que merece destaque é a área de extensão de toda a bacia, pois essa representa uma fragilidade “forte” distribuída em 67% de toda área e é seguida de uma fragilidade média, principalmente no Baixo Aguapeí. É possível ainda verificar que no extremo oeste da bacia, no Baixo Aguapeí, a fragilidade é “muito forte à inundações”, pois essa área corresponde à uma planície fluvial.

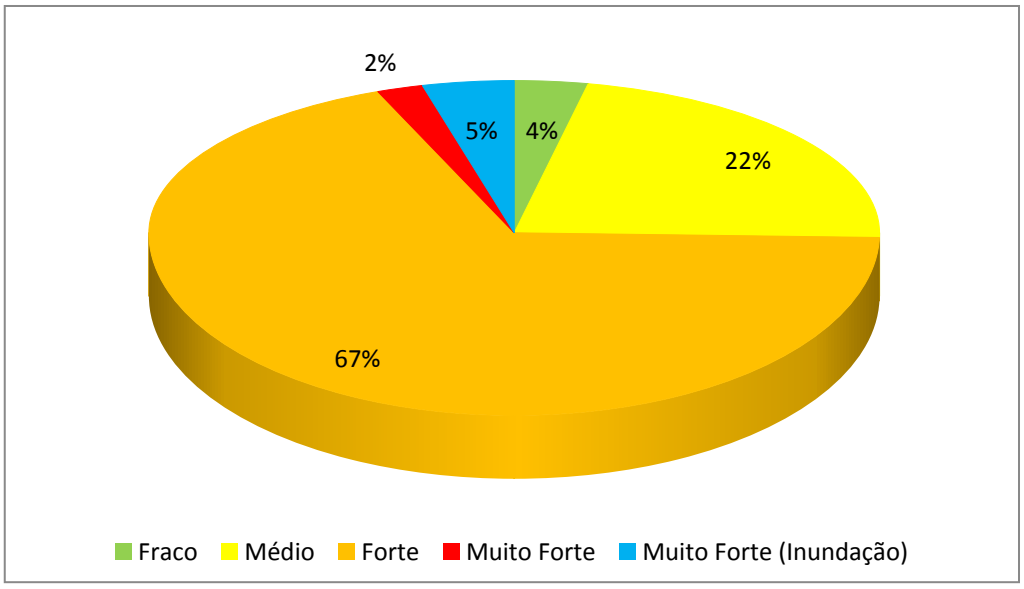


Gráfico 10 - Distribuição das classes de Fragilidade Potencial.

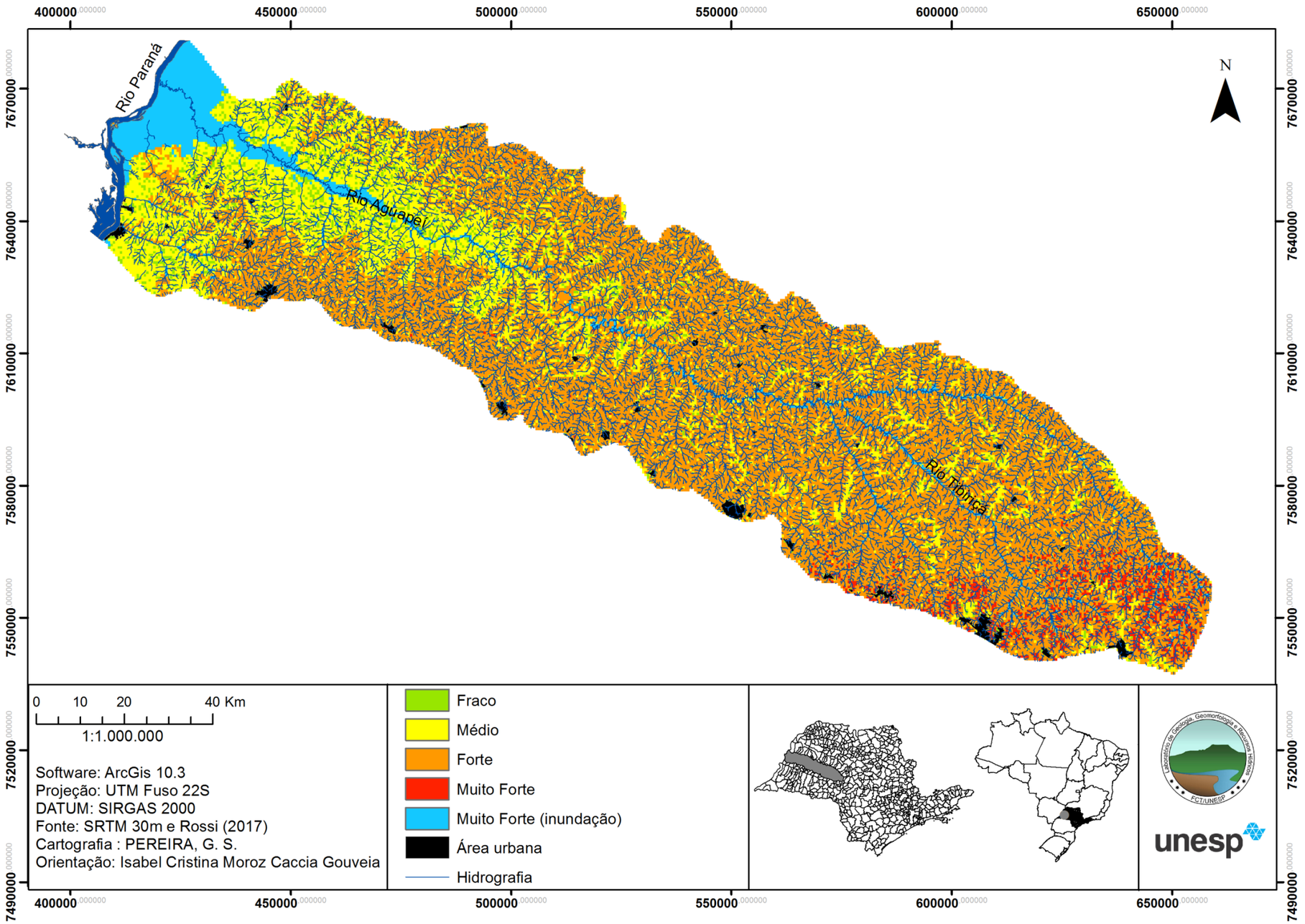


Figura 27 – Mapa de Fragilidade Potencial da UGRHI - 20

8.3. Fragilidade Emergente

Aqui, diferentemente do mapa da fragilidade potencial, levamos em consideração a ação antrópica sobre o ambiente, quando utilizamos informações de uso e cobertura da terra.

Analisando as categorias de fragilidade distribuídas no mapa de fragilidade emergente (Figura 29 e Gráfico 12), concluímos que a situação da UGRHI-20 é crítica, pois 57% de sua área apresenta uma fragilidade forte, seguida de 29% com fragilidade média, ou seja, quase 90% da UGRHI merece atenção no que diz respeito ao planejamento ambiental, pois essa área necessita de práticas de manejo de solo adequados e conservacionistas. Ainda vale destacar que no extremo oeste da UGRHI, a fragilidade ambiental é considerada muito forte às inundações, com uma proporção de 6% do total da UGRHI.

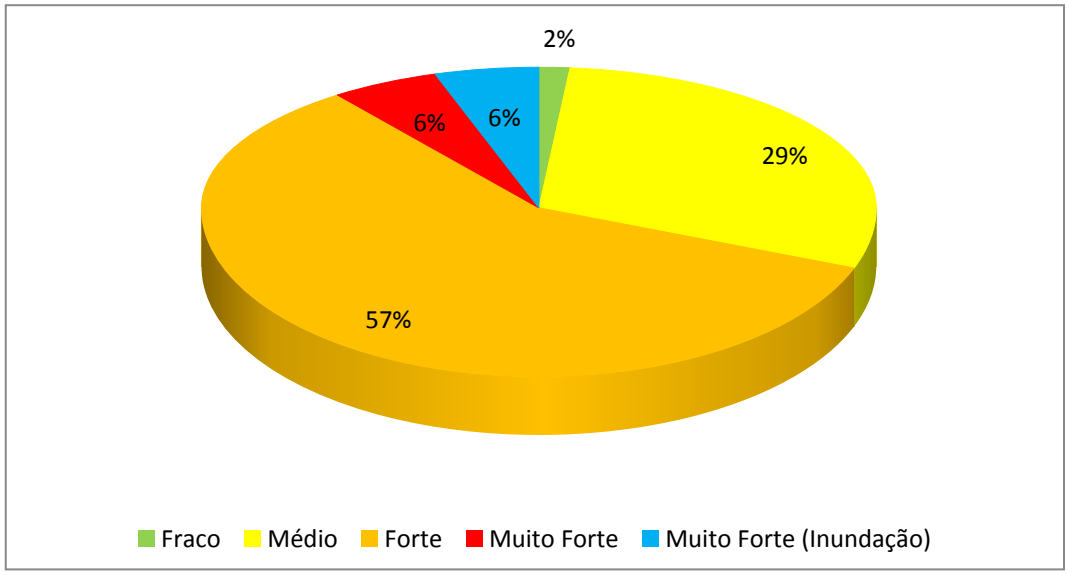


Gráfico 11 - Distribuição das classes de Fragilidade Emergente.

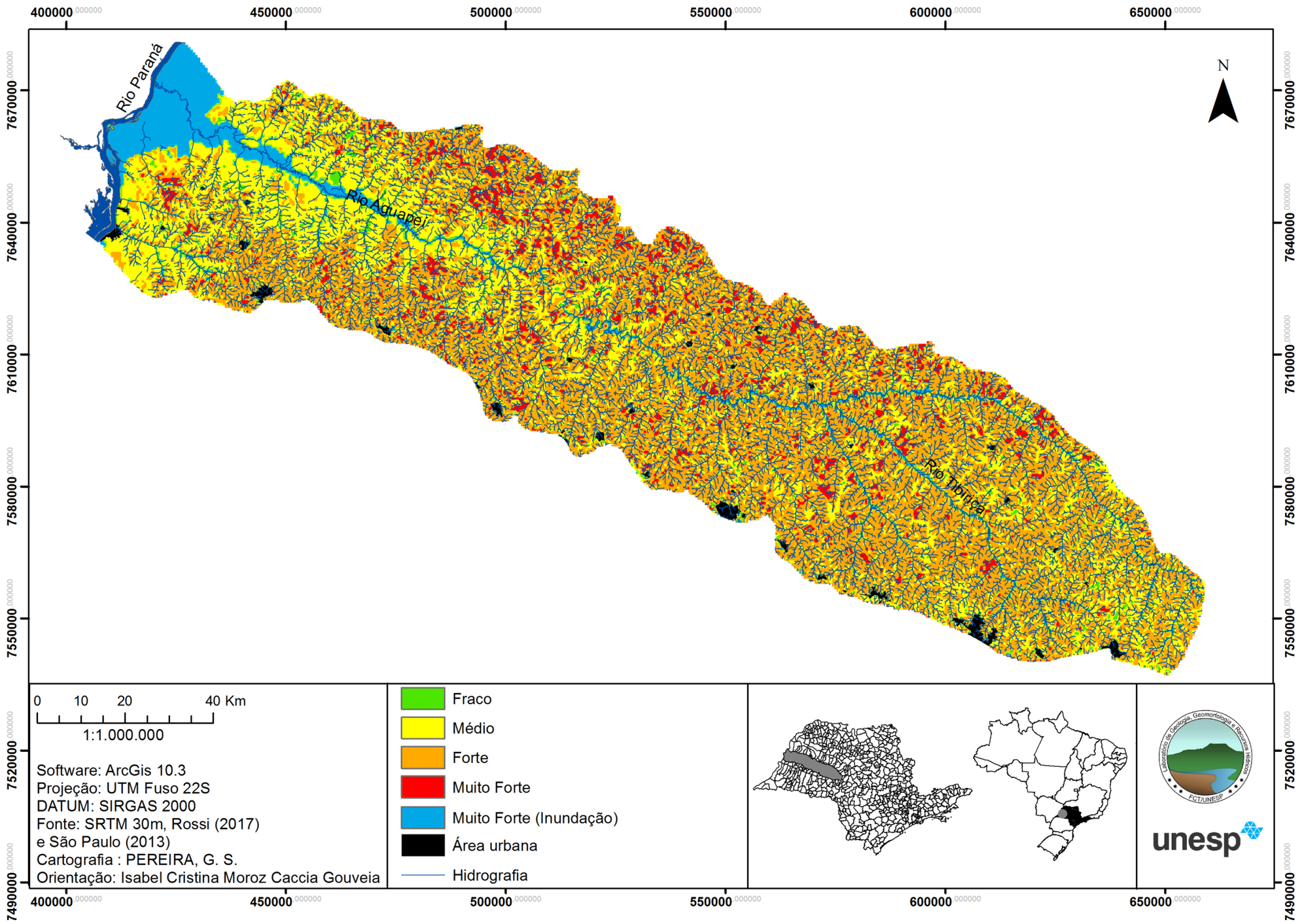


Figura 28 – Mapa de Fragilidade Emergente da UGRHI - 20

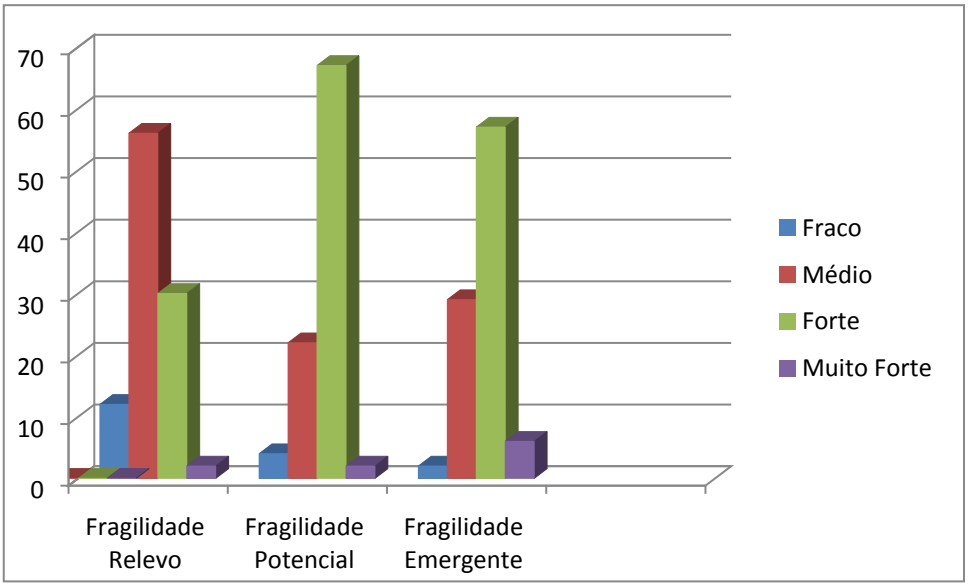


Gráfico 12 - Comparação dos Níveis de Fragilidade

Para compreendermos os Níveis de Fragilidade da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Aguapeí (UGRHI-20) é fundamental que levemos em consideração os aspectos físicos e antrópicos que ocorrem dentro dessa região, uma vez que a Fragilidade de Relevo e Fragilidade Potencial estão relacionadas às características naturais do terreno como, por exemplo: curvatura do relevo, inclinação do terreno bem como tipos de solos. Já para análise da Fragilidade Emergente, devemos levar em consideração as ações antrópicas, tais como, a forma que essa área foi ocupada, tipos de culturas praticadas e formas de manejo do solo.

Diante do exposto acima é possível notar no Gráfico 13, que os graus das fragilidades na UGRHI-20 se correlacionam, pois quase 60% da área estudada apresenta uma Fragilidade de Relevo considerada “Média” devendo ser explicada pelo tipo de topografia do terreno, que apresenta áreas dissecadas principalmente na porção do Alto Aguapeí. Se considerarmos a Fragilidade Potencial, podemos notar que cerca de 65% de toda UGRHI-20 apresenta valores considerados “Forte”, tal fato se deve quanto aos tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica. Desse modo, observa-se que a variável solos é responsável pela elevação dos níveis de fragilidade.

Em relação à fragilidade emergente, que leva em consideração o uso e ocupação do solo, verifica-se que quase 60% da UGRHI-20 está na classificação “Forte”. Esse resultado demonstra como as formas de uso e ocupação da terra

podem ser responsáveis pelo aumento dos níveis de fragilidade. Isso se deve ao tipo de uso e ocupação do solo praticado no Estado de São Paulo nas últimas décadas, pois em grande parte do Estado, principalmente no Oeste Paulista a agricultura de cana-de-açúcar tem crescido vertiginosamente, bem como áreas para pastagens e criação de gado. Diante disso, o solo ora descoberto entre uma safra e outra ao longo dos anos propicia os processos erosivos.

9. SÍNTESE: SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PLUVIAL NA UGRHI 20

Conforme pode ser visto na Figura 30 e no Gráfico 14, verificamos que praticamente metade da área, ou seja, 46% da UGRHI – 20 está classificada no nível I - “Muito Forte” seguida de 32% da área no nível II – “Forte”.

Considerando essas duas classes, temos 78% da UGRHI – 20 em situação crítica em relação à suscetibilidade à erosão pluvial. Também vale ressaltar que 13% da UGRHI – 20 apresenta a classe “Média”, concentrando-se mais na parte do Baixo Aguapeí, principalmente ao longo do leito do rio principal, o Aguapeí e seus tributários.

Tal resultado pode ser compreendido quando se analisa os dados de perda de solo (Figura 23 e Gráfico 7) bem como os dados de Fragilidade Emergente (Figura 29 e Gráfico 12), dois subprodutos essenciais que foram utilizados para gerar esses dados. Como pode ser visto no mapa de perdas de solos, 73% das perdas com volumes consideráveis (maior que 50 ton.ha/ano) encontram-se distribuídas ao longo de toda UGRHI bem como é possível notar que a Fragilidade Emergente é considerada “forte” em praticamente em mais da metade da área estudada, ou seja, em 57%.

Diante dessas análises é possível inferir que a suscetibilidade à erosão pluvial seguiu as mesmas tendências dos dois mapas analisados anteriormente.

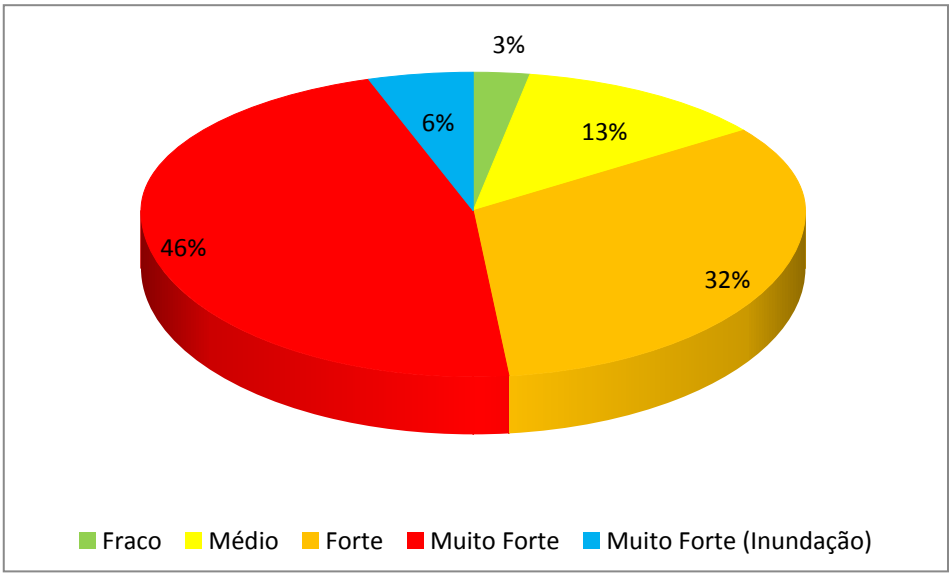


Gráfico 13 - Suscetibilidade à erosão pluvial.

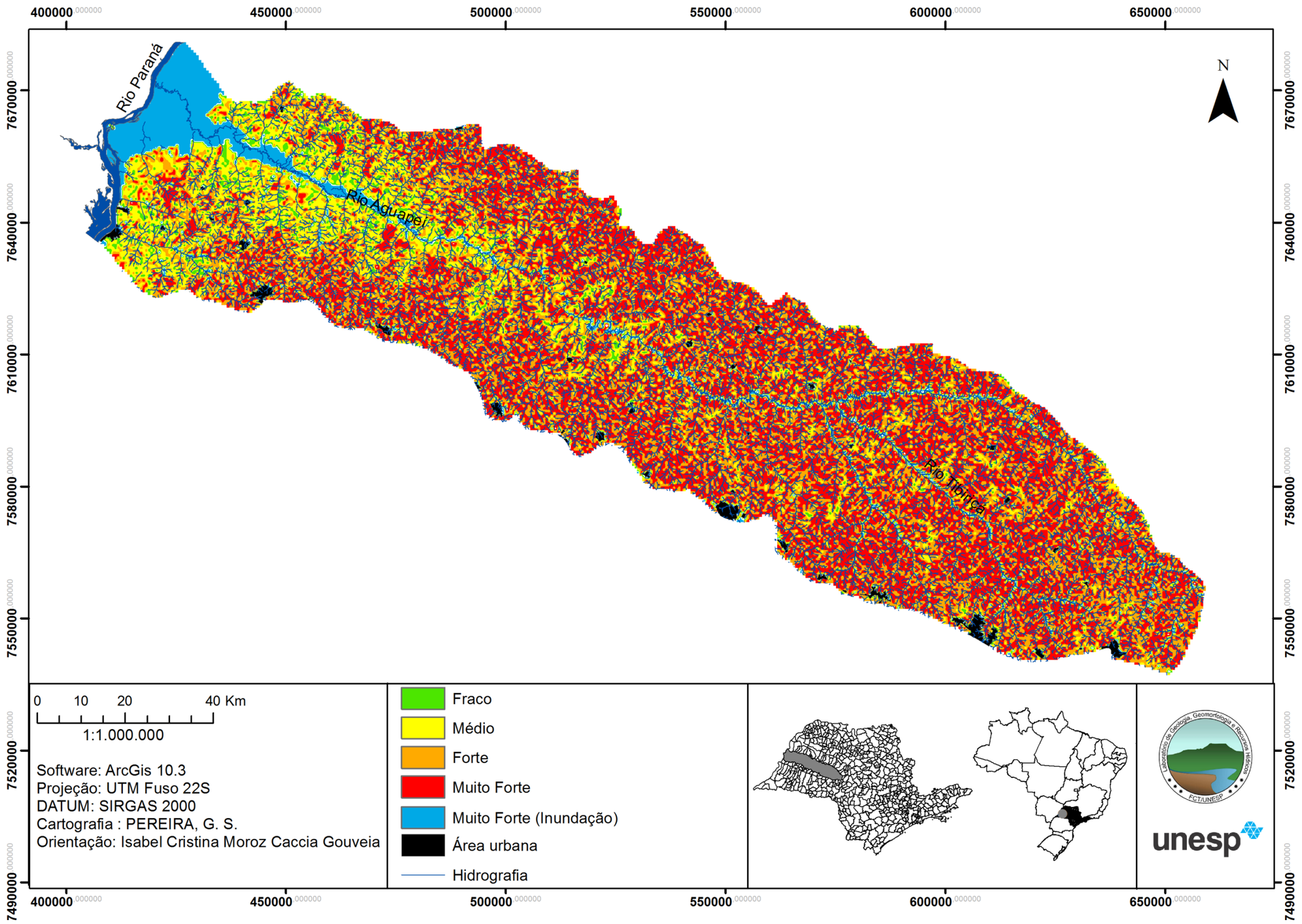


Figura 29 – Mapa de Suscetibilidade à erosão pluvial na UGRHI - 20.

A análise do Gráfico 15 nos permite a comparação entre os tipos de erosão da UGRHI-20 e nos fornece informações para concluirmos que essa bacia hidrográfica merece muita atenção em relação aos processos erosivos laminares e lineares. Como pode ser observado, mais de 70% da área apresenta tendência à erosão linear considerada “Forte” e mais da metade da área estuda, ou seja, quase 60% da bacia apresenta tendência “Muito Forte” à erosão laminar. Esses dados combinados nos revelam que mais de 80% da UGRHI-20 encontra-se na categoria “Forte ou Muito Forte” em se tratando de erosão pluvial.

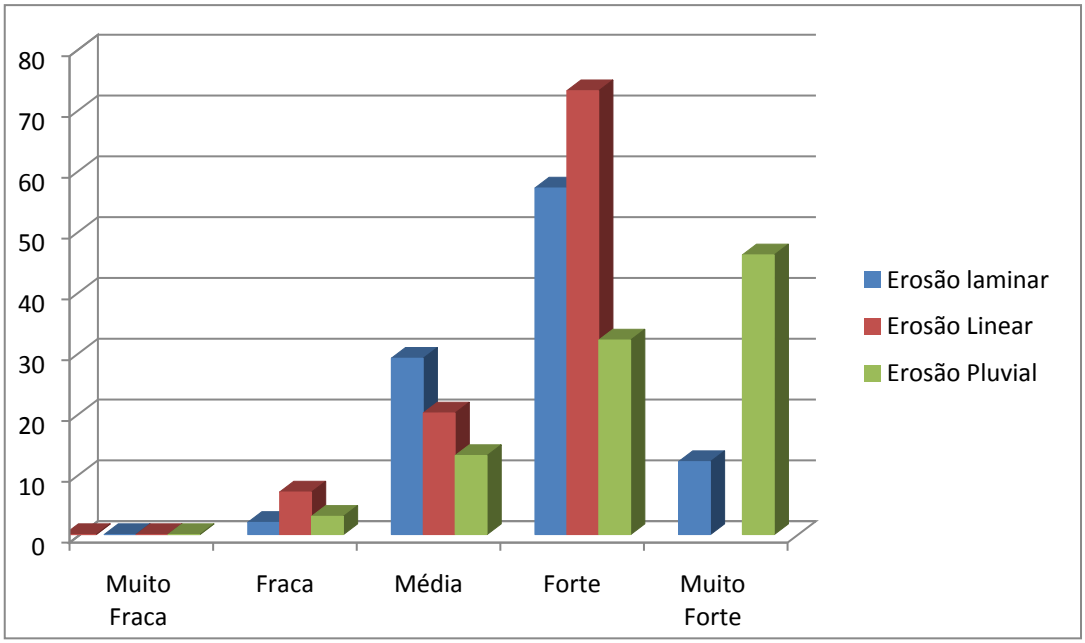


Gráfico 14- Comparação entre erosão laminar, erosão linear e erosão pluvial

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa pesquisa foi possível diagnosticar que a maior parte da área da Unidade de Recursos Hídricos do rio Aguapeí (UGRHI-20) apresenta níveis de Fragilidade de instabilidade Emergente aos processos erosivos lineares considerados altos em função do uso e ocupação de suas terras, bem como das características naturais da paisagem. Ocorrem nessa área, ravinamentos e voçorocas que além de alterar a forma do relevo, contribuem para o assoreamento dos corpos d'água.

Em relação aos processos erosivos laminares, foi diagnosticado que mais da metade da área estudada, ou seja, 59% da UGRHI-20 apresenta uma estimativa de perda de solo com valores superiores a 100 toneladas por hectare ao ano, seguida de 14% de área perdendo entre 50 a 100 toneladas por hectare ao ano, valores que estão muito acima do que foi recomendado pela FAO (1965) e por Wischmeier & Smith (1978).

Pode-se considerar que as metodologias utilizadas nesse trabalho foram eficientes, levando em conta os objetivos da pesquisa, pois indicou satisfatoriamente áreas críticas em relação à erosão laminar e linear.

Ter identificado que essa UGRHI apresenta grande potencialidade à erosão, é fundamental para o planejamento ambiental, pois áreas que apresentam médio ou alto potencial à erosão necessitam de atenção especial por parte de quem executa atividades direcionadas ao planejamento do uso e ocupação do solo. Esses tipos de ambientes devem ser manejados de forma a controlar os processos erosivos e, para isso, se torna necessário adequar seu uso e ocupação à sua Fragilidade Ambiental sendo, portanto recomendadas ações de medidas mitigadoras dos impactos ambientais.

Espera-se que os dados obtidos nessa pesquisa sejam usados por órgãos gestores dos recursos hídricos, em especial pelo Comitê de Bacia Hidrográfica dos rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP), pois esses resultados podem auxiliar no processo de gestão da UGRHI-20, fornecendo subsídios para o disciplinamento de uso e ocupação das terras, recuperação e manutenção da qualidade ambiental de forma a garantir a proteção dessa região. Para isso, serão entregues exemplares desse

trabalho em meio digital para o Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, K. O; RIBEIRO, F. L. **Análise dos impactos da competição pelo uso do solo no estado de Goiás durante o período 2000 a 2009 provenientes da expansão do complexo sucroalcooleiro**. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v.65, n.4, p.373-400, dez. 2011.

ALBUQUERQUE, A. R. da C. **Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental**. Manaus. 2012. 9p.

ALCÂNTARA, E. H. de. & SOUZA, A. **Produção de sedimentos na zona costeira da Bahia – Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, v. 62/02. p 199-205. 2010.

ÁLVARES, M. T. P; PIMENTA, M. T. **Erosão hídrica e transporte sólido em pequenas bacias hidrográficas**. 1998.

AZEVEDO, H. A. M. A.; BARBOSA, R. P. **Gestão de recursos hídricos no Distrito Federal: uma análise da gestão dos Comitês de Bacia Hidrográfica**. Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 5, n. 13, p. 162-182, 2011.

BARRIOS, N. A. Z.; SANT'ANNA NETO, J.L. **A circulação atmosférica no extremo Oeste Paulista**. **Boletim Climatológico, Presidente Prudente**, v. 1, n. 1, p. 8-9, mar. 1996.

BARTH, Flávio Terra. **A recente experiência brasileira de gerenciamento de recursos hídricos**. Cadernos FUNDAP no. 20. São Paulo, 1999

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. & ROLOFF, G. **Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica**. R. Bras. Ci. Solo, 31:781-792, 2007.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo** 2ª edição - Piracicaba: Livroceres, 1990.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

BORDALLO, C. L. A. **A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento dos Recursos Hídricos**. Belém: NUMA/UFPA, 1995.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. da; VITTE, A. C. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. Cap. 6, 2004 In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. **Lei no. 9.433**. de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília, DF.

BRYAN, R.B. (1990). **Knickpoint evolution in rillwash**. **Catena SIlpplement**, 17, 111-132.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CHAVES, H. M. L. **Aplicação de modelos na previsão da erosão**. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. 5.,1995, Bauru, São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE, 1995. 4554p.

COELHO NETTO A. L. 1998. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia** In: Guerra A. J. T., Cunha S.B. da. 1998. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 3, p. 93-148.

CRUZ, R. C.; TAVARES, I. S. **Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos**. In: RIGHES, A. A. (Org.); BURIOL, G. A. (Org.); BOER, N. (Org.). **Água e educação**: **princípios e estratégias de uso e conservação**. Santa Maria, RS: Centro Universitário Franciscano, 2009. cap. 3.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:250.000. Convênio DAEE/UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 1982.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Serviços – Base de Dados Hidrológicos**. Disponível em: Disponível em: < http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em 21/11/2018.

DE PLOEY, J. & POESEN, J. (1985). **Aggregate stabillty, runoff generatlon and Interrill erosion. Geomorphology and soils**. Eds. : K.S. Richards, R.R. Arnett e S. Ellis, 99-120.

DE PLOEY, J. (1985). **Experimental data on runoff, generation. Soll erosion and conservation.** Eds.: S.A Swaify, W.C. Moldenhauer e A. Lo, 528-539.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. GTZ, Eschborn, Germany, 1991.

DOSSIÊ DAS UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – UGRHIS. **Relatório Técnico nº 131.057-205** p. 165-173. Disponível em:< http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7421/erosoes_dossie-das-ugrhis.pdf>. Acesso em 21/11/2018.

EVANS, R. (1980). **Mechanlcs water eroslon and their spatlal and temporal contrais: an emplrical viewpoint. Soil erosion**. Eds.: M.J. Kirkby e R.P.C. Morgan, 109-128.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **La erosión del suelo por el agua**. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de Fomento Agropecuario da Organización de las Naciones Unidas. Roma: FAO, 1967. n. 81, 207 p.

FARRES, P (1978). The role of time and aggregate size the crusting process **Earth Surface Processes**, 243-254.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: UFPR, 2001.

FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para cidade sustentável**. São Paulo: Annablume/FAPESP, 2001.

GILIO. L. **Análise dos impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético**. Piracicaba, 2015. 86p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.

GREENLAND, D.L., RIMMER, D. & PAYNE, D. (1975). Determination the structural stability class **English and Welsh Soils using a water coherence test. J. Soll. Sei**., 26, 1975, 294-303

GUERRA, A. J. T. Inicio do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. I.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R. G. M(orgs) **Erosão e conservação dos solos.** Ed. Bertand Brasil, 1999. p. 17-50.

GUERRA, A.J.T. **Soil characterlstlcs and eroslon, with particular relerence to organic matter content.** Tese de Doutorado, Universidade de Londres, 1991, 441 p.

HARTMANN, R. & DE BOODT, M. (1974). **The inflence 01 the moisture content, texture and organic matter on the aggregatlon on sandy and loamy solls**. **Geoderma,** 11, 53- 62.

IBGE – INSTITUITO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal** – **PAM**. Brasília: 2015. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12/07/2019.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo, **RELATÓRIO TÉCNICO 131.057 – 205**. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, São Paulo, 2012.

KARKEE, M.; STEWARD, B. L.; AZIZ, S. A. Improving quality of public domain digital elevation models through data fusion. **Biosystems Engineering**, v.101, p.293-305, 2008.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde. Gotha: Klett-Perthes,** 1954. Escala 1:16.000.000.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Erodibilidade dos Solos Paulistas**. Campinas, SP. **Instituto Agronômico, Boletim Técnico**, 27, 1975.

MAFFRA, C. Q. T; MAZZOLA, M. **As razões dos desastres em território brasileiro**. In: SANTOS, R.F. dos. (org.). **Vulnerabilidade ambiental:** desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007.

MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações sob uma Visão Multidisciplinar.** Jundiaí: Paco editorial, 2015.

MATA, C. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. **Avaliação multitemporal da suscetibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perdas de solos.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, p. 5569, 2007.

MERRITT, E. (1984). The identification offour stages during micro-rill development. **Earth Surface Processes** a11d La11dforms, 9, 493-496.

MORAES, M. A. F. D.; ZILBERMAN, D. **Production of ethanol from sugarcane in Brazil**. London: Springer, 2014. 221p.

MORGAN, R.P.C. (1984). **Soil degradation and erosion as a result 01 agricultural practice. Geomorphology and soils**. Eds.: K.S. Richards, R.R. Arnett e S. Ellis, 379-395.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. **Tutorial - Mapa de Fragilidade Ambiental no Arcgis.** Material didático elaborado para a disciplina de Pós-Graduação “Geomorfologia Aplicada ao Planejamento Ambiental, FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2015.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. **Tutorial – Equação Universal de Perdas de Solo a partir da ferramenta computacional InVEST.** Material didático elaborado para a disciplina de Pós-Graduação “Projeto de Integração Profissional”, FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2017.

Plano De Bacia Hidrográfica Do Comitê Aguapeí/Peixe. Disponível em: < http://cbhap.org/plano/>. Acesso em 21/11/2018.

PEREIRA, G. S. & MOROZ-CACIA GOUVEIA, I. C. **Contribuições Para A Elaboração De Mapas De Fragilidade Ambiental** In: **XXII Encontro Nacional de Estudantes de Geografia**, Rio de Janeiro, 2017.

Porto, Rubem La Laina - **Fundamentos para gestão da água** / coord. por. - São Paulo : s.n., 2012. p. 232

REED, A.H **Accelerated erosion off arable soils in the United Kingdom by rainfall and runoff**. Outlook on agriculture, 10, 1, 41-48, 1979.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da G. **Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento**. In: **Xiii Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 2007**, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2007. p.3039-3046. Disponível em: Acesso em: 07/02/2019.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica e fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 8. São Paulo: 1994, p. 65-74.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, 1990.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. 1997. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000.** Geografia-FFLCH-USP, IPT/ Fapesp, São Paulo, v. 1

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) 1999. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p.

SANT’ANNA NETO J. L. A.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT-UNESP, 2009.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de Erosão: bases conceituais e técnicas;**

diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo, DAEE/IPT, 1989.

SÃO PAULO. **Lei no 9.034**, de 27 de setembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos PERH. Lex, São Paulo, 1994.

SILVA, J. dos S. V. **Análise Multivariada em Zoneamento para Planejamento Ambiental; estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Alto rio Taquari MS/MT**. Tese de Doutorado – UNICAMP - Campinas, 2003.

SILVA, A. M. & ALVARES, C. A**. Levantamento de Informações e Estruturação de um Banco Dados sobre a Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo** - São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005

SIVERTUN A, PRANGE L Non-point source critical area analysis in the Gisselo watershed using GIS. **Environ Modell Softw** 18, 2003: 887–898.

SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F. de; VIAN, C. E. de F. **Desafios da agroindústria canavieira no Brasil pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, v.49, p.599-628, 2011.

SUIZU T. M. Dissertação de Mestrado - **Morfodinâmica do Rio Aguapeí: Processos e Formas Resultantes.** Presidente Prudente: FCT-UNESP, 2017.

THORNES, J. B. **Erosional process of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint**. In **Soil erosion**. Editores:M.J.Kirby e R.P.C.Morgan, 129- 182. (1980).

TUCCI, C. E. M. **Controle de Enchentes**. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993. cap. 4.

VÀGULA, P. R**. Fragilidade Ambiental aos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari, Oeste do Estado de São Paulo, Brasil**" (Dissertação de Mestrado), FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2019.

VERHAEGEN, T. (1984). The influence 01 soil properties on the erodibility 01 Belgian Loamy soils: a study based on rainlall simulations / experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, 9, 499-507.

VIEIRA, N. M**. Estudo geomorfológico das voçorocas de Franca-SP**. Tese - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Franca. 1978.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. (Org.). Vulnerabilidade ambiental. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p. 39-58.(cap. 4).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USD USDA/ARS. 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. **Relation of soil properties to its erodibilit**y. Soil Science Society of America Proceedings**,** Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, jan./fev. 1969.