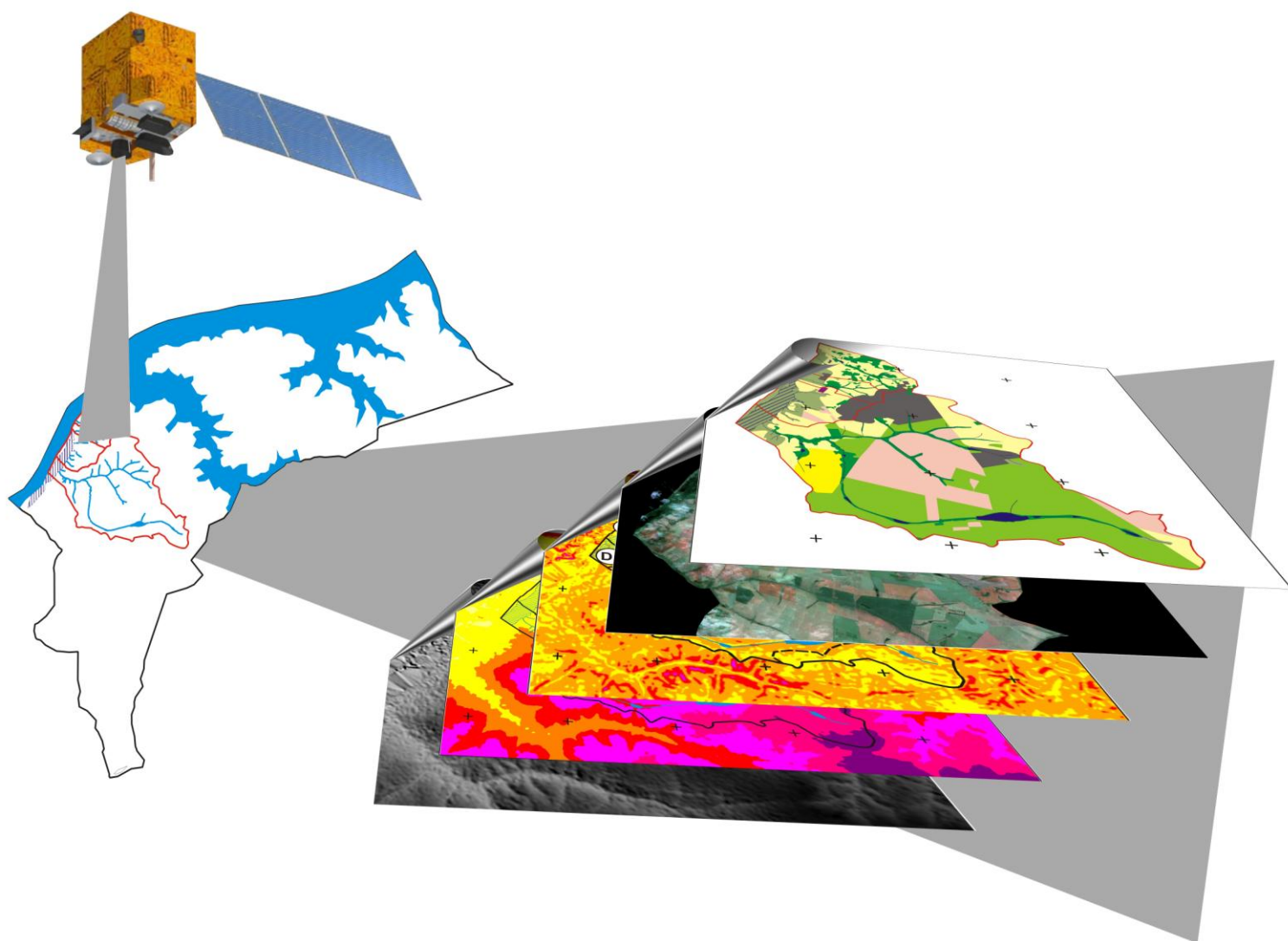


ANA GABRIELA BUENO MELO DE CARVALHO

ANÁLISE EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas



ANA GABRIELA BUENO MELO DE CARVALHO

ANÁLISE EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Rio Claro - SP
2013

ANA GABRIELA BUENO MELO DE CARVALHO

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto.

**Rio Claro - SP
2013**

551.4+ C331a Carvalho, Ana Gabriela Bueno Melo de
Análise em bacias hidrográficas: contribuição
metodológica para o diagnóstico ambiental / Ana Gabriela
Bueno Melo de Carvalho. - Rio Claro, 2013
132 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Bacia
hidrográfica. 3. Geotecnologias. 4. Fragilidade ambiental. 5.
Diagnóstico físico-conservacionista. I. Título.

ANA GABRIELA BUENO MELO DE CARVALHO

**ANÁLISE EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA
PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia, tendo recebido o conceito final: Aprovada.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Prof. Dr. Arnaldo Yoso Sakamoto

Prof^a. Dr^a. Andreia Medinilha Pancher

Dr^a. Lucimari Aparecida Franco Garcia Rosseti

Dr. Rubens Hardt

Rio Claro, SP, 22 de novembro de 2013.

*Para aqueles que me ensinaram tudo...
Que me ensinaram a lutar, a esperar e a
questionar.*

*Para os que me geraram na vida e no amor
incondicional,
aqueles que no primeiro olhar já se dedicaram
completamente a mim...*

*E para os que entraram em minha vida
para me ensinar que o amor deve ser
construído com dedicação mútua, dia após
dia...*

*À minha família,
de laços de sangue ou escolhida pelo amor*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

As primeiras pessoas que devo agradecer são aqueles que me formaram como pessoa, que souberam apoiar minhas qualidades e lidar com meus defeitos. Aqueles que conviveram comigo em todas as etapas da minha vida, da infância a fase adulta. Que me moldaram em um lar de amor e amizade. Obrigada a minha família: Mãe Magda, pai José Melo, irmãs Francielle e Larissa, vó Onélia, tia Magnalda e meu primo Rafinha.

Não menos importante na minha vida é a família que venho construindo ao lado do meu esposo Rafael. À ele agradeço os sonhos compartilhados, tanto os pessoais quanto os profissionais. Você se encaixa em todos os meus sonhos e por isso me faz tão feliz.

Agradeço a família que me acolheu. Aos meus sogros Sandra e Amauri, e ao meu cunhado Anderson e sua esposa Munique por terem me aceito como parte da família e terem me dado tanto amor e amizade.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial a Franciele Gonçalves, Mônica Gonzaga, Cesar Ferreira, Hermiliano Decco e Leandro Cazula, que partilham comigo tantos momentos, bons e ruins, e que sempre incentivam as minhas conquistas.

Quanto a minha formação profissional, tenho que agradecer aos meus professores. Desde a graduação sempre recebi a melhor educação, com os melhores professores. Obrigada principalmente aqueles que viraram professores também na minha vida, que souberam ser mestres e amigos: Arnaldo Sakamoto, Wallace de Oliveira e José Augusto de Lollo.

Agradeço ao meu orientador de doutorado Sérgio dos Anjos pelo aceite na orientação. Obrigada por acreditar em meu potencial acadêmico mesmo sem me conhecer pessoalmente. Obrigada por respeitar meus limites e confiar em minhas capacidades.

Agradeço a UNESP de Rio Claro e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas pela oportunidade para concretização deste sonho.

Ao CNPq pela concessão de bolsa e taxa de bancada. Sem esses recursos financeiros o meu projeto seria inviável economicamente.

A UNESP de Ilha Solteira, em especial ao professor Hélio Ricardo Silva e ao colega Fritz Robert pela disponibilização das fotografias aéreas de Ilha Solteira.

A Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo, sede de Araçatuba, que sempre foram solícitos aos meus pedidos de documentos e mapas base. Agradeço em especial ao funcionário e amigo Marcio Gomes e sua esposa Alessandra, que sempre nos receberam em sua casa nestes campos em Araçatuba.

Aos parceiros de república, de moradia estudantil e a todos aqueles amigos que conquistei em Rio Claro: Débora Baratto, Paulo Ávila, Thiago Melo, Rafael - Itú, Rafael - Araraquara, Bruna Rossin, Katia Fernanda, Julimara Santos, Marina Walker, Kleber Carvalho, André Malavazzi, Graziele Muniz, Silas Melo, Bruno Leite, Lilian Camargo, Adriele Ribeiro, Diego Amorim, Jaqueline Porto, Mayara Ferreira... Obrigada por tornarem meus dias nesta cidade menos tristes, por me ajudarem a esquecer a saudade da família em momentos alegres e festivos. Vocês foram muito importantes para minha permanência neste lugar.

Eu não seria capaz sozinha, eu não conseguiria com minhas próprias forças. Esta tese é fruto de suor, lágrimas, tristezas e alegrias. Por inúmeras vezes pensei que não iria conseguir. Por inúmeras vezes me desesperei. E não desisti de tudo porque em todos os momentos de dúvida, sempre tive um amigo para me dizer que eu era capaz. Quando eu mesma não acreditava que era, alguém me recordou do sonho. Por isso, a todos aqueles que direta e indiretamente fizeram parte desta minha conquista, mesmo sem tê-los citados nestas linhas, eu agradeço do fundo do meu coração.

Obrigada

Ana Gabriela

"[...] Foi o começo da vida de geógrafo: ler e interpretar a paisagem, ter a noção da seqüência dos cenários de um determinado espaço, passou a ser uma constante em toda a minha vida" (Aziz Ab'Sáber, 2007, p.35)

Eu nasci geógrafa.

Desde criança sempre contemplei o mundo.

Nas viagens, na carroceria da camionete do meu pai, eu olhava o relevo, a drenagem, as feições das paisagens... Sempre fui apaixonada pela natureza. Quando me banhava no "córquinho" da "Primeira Ponte" eu procurava compreender os mecanismos de funcionamento do ambiente natural, sem compreender que naquele momento fazia Geografia.

Ainda sinto saudades daquele meu olhar sobre aquela paisagem. Paisagem esta que foi consumida pela ação do homem e a construção da UHE de Porto Primavera.

Por isso escolho esta frase para iniciar minhas laudas. Hoje entendo muito mais os mecanismos de formação da paisagem, compreendo o lugar do homem no ambiente natural, e defendo que é possível uma convivência harmônica entre o natural e o antrópica, isto é meio ambiente.

Ana Gabriela

RESUMO

As bacias hidrográficas de pequeno porte influenciam diretamente na qualidade de vida dos municípios, e as metodologias de diagnóstico ambiental em bacias hidrográficas, em sua maioria, se estendem a bacias hidrográficas de grande porte, que compreendem vários municípios, o que dificulta uma gestão participativa e eficaz. Em geral, propor alternativas de gestão para pequenas bacias hidrográficas garantem a aplicabilidade da metodologia, visto que planos de manejo que necessitem da adesão de vários municípios nem sempre são aplicáveis pela falta de interesse e participação de todos os municípios envolvidos. Fazem-se necessários estudos mais detalhados e a proposição de metodologias aplicáveis para a definição da intensidade da degradação ambiental em bacias hidrográficas de pequeno porte, que atinjam um único município, a fim de subsidiar o poder público para a tomada de decisões referentes ao manejo, a recuperação e a criação de áreas de expansão urbana, tornando os impactos do uso da terra os menores possíveis. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi propor um modelo cartográfico de diagnóstico ambiental do meio físico para bacias hidrográficas de pequeno porte, com usos da terra diferenciados, baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977). Adotou-se como área de estudo Ilha Solteira - SP, que em 1968 teve o seu traçado urbano planejado e construído para abrigar os trabalhadores na construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Nesse estudo, foram aplicadas duas metodologias distintas de avaliação de qualidade ambiental: a de “fragilidade ambiental” de Crepani et al (1996) e a de “diagnósticos físico-conservacionista de bacias hidrográficas” adaptado de Beltrame (1994). Como resultado, a pesquisa desenvolveu um modelo cartográfico intitulado "Diagnóstico do Meio Físico", que em comparação com os outros modelos testados, apresentou limites entre as classes mais definidos tornando o mapa mais limpo e simplificado. Vale ressaltar que todos estes produtos cartográficos poderão subsidiar a tomada de decisões públicas a fim de minimizar futuros impactos ambientais.

Palavras-Chave: Bacia Hidrográfica; Diagnóstico Ambiental; Geotecnologias; Fragilidade Ambiental; Diagnóstico Físico-conservacionista.

ABSTRACT

The small watersheds directly influence the quality of life of the cities, and the methodologies for environmental assessment in watersheds, mostly extend to large watersheds, comprising several municipalities, which hinders participatory management and effective. In general, proposed management alternatives for small watersheds guarantee the applicability of the methodology, as managements plans requiring the accession of several municipalities are not always applicable to lack of interest and participation of all municipalities involved. There is a need further studies and propose methodologies applicable to the definition of the intensity of environmental degradation in watersheds small, reaching a single municipality in order to subsidize the government to make decisions regarding the management, the recovery and the creation of areas of urban expansion, making the impacts of land use as small as possible. In this context, the objective of this research is to propose a cartographic model of environmental assessment of the physical environment for small watersheds of different land uses based on the concept of ecodynamics Tricart (1977). It was adopted as the study area Ilha Solteira - SP, which in 1968 had its urban layout planned and built to house workers in the construction of the hydroelectric plant of Ilha Solteira. The council was created on December 30, 1991. In this study, we will apply two different methodologies for assessing environmental quality, the "environmental fragility" of Crepani et al (1996) and "diagnostic physical conservationist watershed" adapted Beltrame (1994). As a result, the research developed a cartographic model entitled "Diagnosis of the Physical", which in comparison with the other models tested, had defined borders between classes making the map cleaner and simplified. It is noteworthy that all these map products will provide subsidies for public decision-making in order to minimize future environmental impacts.

Keywords: Watershed; Environmental Diagnosis; Geotechnology; Environmental Fragility; Physical Diagnosis conservationist.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Localização da área de estudo	23
Figura 2.2 - Mapa Geológico	27
Figura 2.3 - Mapa Pedológico	29
Figura 2.4 - Precipitação média mensal	31
Figura 2.5 - Temperatura média mensal	32
Figura 3.1: Desenho ilustrativo de uma bacia hidrográfica	34
Figura 3.2: Paris, 1858	37
Figura 3.3 - Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas	45
Figura 4.1 - Fluxograma metodológico da pesquisa	50
Figura 4.2 - Posicionamento das bases cartográficas no software	51
Figura 4.3 - Identificação das bacias hidrográficas	52
Figura 4.4 - Método de mapeamento no Global Mapper 13	54
Figura 4.5 - Resultado da fusão de imagens do sensor CCD com sensor HRC do satélite CBERS-2B	55
Figura 4.6 - Processo de recorte no IMPIMA	56
Figura 4.7 - Processo de registro da imagem	57
Figura 4.8 - Processo de classificação por pixel - treinamento	58
Figura 4.9 - Processo de classificação por pixel - classificação	58
Figura 4.10 - Processo de segmentação	60
Figura 4.11 - Processo de mapeamento por Isoseg	61
Figura 4.12 - Processo de mapeamento por Battacharya	62
Figura 4.13 - Método de mapeamento no Global Mapper 13	63
Figura 4.14 - Obtenção do MDE no software Global Mapper 13	76
Figura 5.1 - Hipsometria nas bacias hidrográficas analisadas	81
Figura 5.2 - Declividade nas bacias hidrográficas analisadas	82
Figura 5.3 - Modelo tridimensional de elevação do relevo	83
Figura 5.4 - Perfis Topográficos	84
Figura 5.5 - Resultados das segmentações testadas	85
Figura 5. 6 - Resposta final após processo de classificação e mapeamento	87
Figura 5.7 - Uso da terra para os anos de 1978 e 2009	88
Figura 5.8 - Uso da terra para os anos de 1978 e 2009	90
Figura 5.9 - Setorização da Paisagem	91
Figura 5.10 - Dados para a setorização das bacias	92

Figura 5.11 - Nascentes do córrego do Jardim Novo Horizonte	93
Figura 5.12 - Início da canalização	93
Figura 5.13 - Respiro da canalização	93
Figura 5.14 - Aspectos físicos da bacia A	94
Figura 5.15 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia A	95
Figura 5.16 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia A	96
Figura 5.17 - A grama baixa é um indicativo de direcionamento da enxurrada superficial	96
Figura 5.18 - Canais do sistema de drenagem ligados a um dos afluentes do córrego	96
Figura 5.19 - Aspectos físicos da bacia B	97
Figura 5.20 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia B	98
Figura 5.21 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia B	98
Figura 5.22 - Recorte da bacia C na imagem CBERS	99
Figura 5.23 - Aspectos físicos da bacia C	100
Figura 5.24 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia C	101
Figura 5.25 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia C	101
Figura 5.26 - Processo erosivo após canalização do sistema de drenagem	102
Figura 5.27 - Lixo que enrosca nas raízes pelo processo de enxurrada	102
Figura 5.28 - Obras de engenharia para diminuição de velocidade do sistema de drenagem	102
Figura 5.29 - Atrás, processo erosivo em estágio avançado. A frente, deposição de descarte de construção civil	102
Figura 5.30 - Aspectos físicos da bacia D	103
Figura 5.31 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia D	104
Figura 5.32 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia D	104
Figura 6.1 - Fragilidade Ambiental	106
Figura 6.2 - Diagnóstico Físico-Conservacionista	109
Figura 6.3 - Diagnóstico do Meio Físico	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Descrição dos tipos litológicos nas bacias estudadas	28
Quadro 2.2 - Descrição dos tipos de solo nas bacias estudadas	30
Quadro 3.1: Unidades de Paisagem para Tricart (1977)	40
Quadro 3.2 - Variáveis de Fragilidade	43
Quadro 3.3 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas	45
Quadro 4.1 - Interpretações visuais para uso da terra	53
Quadro 4.2 - Interpretações visuais para uso da terra urbano	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados das Imagens do CBERS2B utilizadas na Fusão	55
Tabela 4.2 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas	66
Tabela 4.3 - Classes de declividade com escalas de vulnerabilidade	67
Tabela 4.4 - Valores de Vulnerabilidade dos Solos	69
Tabela 4.5 - Valores de Vulnerabilidade da Vegetação	70
Tabela 4.6 - Distribuição da vulnerabilidade entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica	71
Tabela 4.7 - Classificação quanto ao grau de semelhança para o parâmetro CO	72
Tabela 4.8 - Classificação quanto ao tipo de cobertura e o grau de proteção fornecida ao solo para o parâmetro CA	73
Tabela 4.9 - Classes de declividade - parâmetro DM	73
Tabela 4.10 - Classificação do índice de erosividade - parâmetro E	74
Tabela 4.11 - Comparativo Metodológico: Atributos e pesos	78
Tabela 4.12 - Classificação - Diagnóstico do Meio Físico	79
Tabela 6.1 - Atributos e pesos - Fragilidade Ambiental	105
Tabela 6.2 - Atributos e pesos - DFC	108
Tabela 6.3 - Atributos e pesos - Diagnóstico do Meio Físico	112

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Premissas.....	18
1.2 Objetivos	19
1.3 Justificativa.....	20
 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
2.1 Histórico do Município de Ilha Solteira-SP	24
2.2 Legislação e o caso de Ilha Solteira/SP	24
2.3 Aspectos físicos da área de estudo.....	26
 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
3.1 O uso de bacias hidrográficas como objeto de gestão ambiental	33
3.2 As Geotecnologias: As Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas	36
3.3 Modelagem Ambiental.....	38
3.3.1 O conceito de Ecodinâmica de Tricart.....	39
3.3.2 Modelos de fragilidade ambiental.....	41
3.4 Fragilidade Ambiental com base em Unidades Territoriais Básicas (UTBs).....	43
3.5 Diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas urbanas	47
 4 METODOLOGIA	49
4.1 Procedimentos Metodológicos	51
4.1.1 Identificação das bacias hidrográficas.....	51
4.1.2 Confecção dos mapas de uso da terra.....	52
4.1.3 Levantamento da fragilidade ambiental nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP para os anos de 1978 e 2009.....	64
4.1.3 DFC - Levantamento do diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP	71
4.1.4 Levantamento e obtenção dos mapas bases	74
4.1.5 Elaboração do mapa síntese: Áreas de interesse para a gestão pública das bacias hidrográficas da cidade de Ilha Solteira – SP	77
 5 RESULTADOS.....	80
5.1 Levantamento dos aspectos físicos das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP.....	80
5.1.1 Características do Relevo	80
5.2 Evolução espaço-temporal do uso da terra nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP (1978-2009).....	85

5.2.1 Evolução espaço-temporal do uso da terra na cidade de Ilha Solteira – SP (1978-2009).....	89
5.3 Análise dos resultados por setores das bacias	91
5.3.1 Bacia Hidrográfica A: Bacia Hidrográfica do Jardim Novo Horizonte	93
5.3.2 Bacia Hidrográfica B: Bacia Hidrográfica do Cinturão Verde.....	96
5.3.3 Bacia Hidrográfica C: Bacia Hidrográfica dos Pequenos Canais	99
5.3.4 Bacia Hidrográfica D: Bacia Hidrográficas das Lagoas	102
6 APLICAÇÃO DE MODELOS AMBIENTAIS EM ILHA SOLTEIRA-SP	105
6.1 Fragilidade Ambiental.....	105
6.2 DFC - Diagnóstico Físico-Conservacionista.....	107
6.3 Proposição de um novo modelo de diagnóstico ambiental	111
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
7.1 Considerações a respeito da metodologia utilizada	115
7.2 Sugestões para a melhoria do modelo proposto	116
7.3 Alternativas mitigadoras de uso e intervenções para a preservação e/ou recuperação da qualidade ambiental no município	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	123
A. Artigo de cadastramento de erosões	123

1 INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental relativa às bacias hidrográficas envolvidas na degradação dos recursos naturais, só surgiu após as décadas de 1960/70, e teve como premissa o estabelecimento de limites para o desenvolvimento econômico mundial. Considerou-se que os problemas ambientais têm origem na geração de pressão causada pela população nos recursos naturais. No Brasil a degradação ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos, é objeto de preocupações crescentes de pesquisadores e dos gestores públicos.

No entanto, são escassas as metodologias de diagnóstico ambiental em bacias hidrográficas urbanas de pequeno porte. Fazem-se necessários estudos mais detalhados e a proposição de metodologias aplicáveis para a definição da intensidade da degradação ambiental em bacias hidrográficas urbanas no território brasileiro, a fim de subsidiar o poder público para a tomada de decisões referentes ao manejo, a recuperação e a criação de áreas de expansão urbana, tornando os impactos da urbanização os menores possíveis.

Esta pesquisa vem de encontro a esta necessidade. Neste estudo, foram aplicadas duas metodologias diferentes de avaliação de qualidade ambiental: a de “fragilidade ambiental” de Crepani et al (1996) e a de “diagnósticos físico-conservacionista de bacias hidrográficas” adaptado de Beltrame (1994). Com o uso dos produtos cartográficos resultado dessas avaliações, será desenvolvido um mapa síntese nomeado “diagnóstico ambiental do meio físico”, que aponta as áreas de interesse para a gestão urbana.

Adotou-se como área piloto quatro bacias hidrográficas urbanas do município de Ilha Solteira (SP) por dois fatores: Primeiro devido ao planejamento dos traçados urbanos, ou seja, a cidade foi planejada para receber a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Outro fator considerado importante está relacionado a idade do município, já que o início da construção do município data 1967. Estes dois fatores citados favorecerão a obtenção de dados recentes e mais confiáveis para a aplicação das metodologias propostas.

Os resultados da pesquisa foram pensados em tópicos explicados a seguir:

No tópico 1 um, “levantamento dos aspectos físicos das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP”, estão dispostos dados cartográficos que serviram de base para a obtenção dos resultados finais. São mapas de dados

físicos, obtidos por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e fontes bibliográficas.

A etapa de "evolução espaço-temporal do uso da terra nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP (1978-2009)", foi trabalhada em um tópico exclusivo por conter uma análise importante das transformações temporais ocorridas nas bacias e por fornecer produtos cartográficos detalhados para a pesquisa.

A partir do tópico três, são apresentados os resultados do trabalho final. Em "fragilidade ambiental nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP, para os anos de 1978 e 2009", discute-se os resultados da aplicação da metodologia de Crepani et al (1996) para a área de pesquisa.

O "diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP" está disposto no tópico quatro e apresenta as análises dos resultados da metodologia proposta por Beltrame (1994).

No tópico cinco demonstra-se uma síntese, através do mapa "diagnóstico do meio físico", o qual aponta as áreas de interesse para a gestão pública das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP, de acordo com uma escala que vai de instável a estável.

Os principais resultados desta pesquisa para o município são os produtos cartográficos que poderão nortear uma proposta para a preservação e recuperação ambiental da área de estudo, bem como poderá subsidiar à tomada de decisões públicas, minimizando assim futuros impactos ambientais. Como contribuição científica apresenta-se a compilação de duas metodologias amplamente utilizadas no meio e a adaptação da proposta de Tricart (1977) em um modelo cartográfico, que poderá servir de base para outros estudos em bacias hidrográficas.

1.1 Premissas

Os modelos de diagnóstico ambiental existentes atualmente muitas vezes não são utilizados por gestores públicos por não responderem a realidade encontrada localmente ou por serem muito complexos e de difícil aplicação. Muitos modelos são para aplicação em bacias hidrográficas extensas, que abrangem mais de um município, o que dificulta ainda mais a aplicabilidade.

Para Christofolletti (1999), a construção a respeito de modelos ambientais representa a expressão de uma hipótese científica que necessita ser avaliada. Sendo assim, a hipótese formulada para este trabalho corresponde a seguinte indagação:

- I. Existe a possibilidade da formulação de um modelo cartográfico que represente a situação diagnóstica do meio físico em uma bacia hidrográfica de pequeno porte?
- II. Existe a possibilidade da formulação de um mapa que revele o diagnóstico do meio físico e que seja capaz de ser facilmente interpretado pelos responsáveis pela gestão pública?
- III. As técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica são eficazes na elaboração de modelos cartográficos de diagnóstico ambiental?

1.2 Objetivos

As bacias hidrográficas vem sendo incorporadas no processo de ocupação antrópica e ao sistema urbano, e como resultado sofrem impactos ambientais diversificados em função da complexidade desse sistema. Tendo em vista essa questão, a presente proposta de pesquisa tem seus objetivos conforme indicados nos itens a seguir.

Objetivo Geral:

Propor um modelo cartográfico de diagnóstico ambiental do meio físico para bacias hidrográficas de pequeno porte, com usos da terra diferenciados, baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977)

Objetivos Específicos:

- a. Caracterizar e analisar o meio físico das bacias hidrográficas selecionadas da cidade de Ilha Solteira, com a utilização das técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas;
- b. Analisar as alterações no uso da terra urbano de Ilha Solteira conforme cenários selecionados de 1978 e 2009;
- c. Identificar e diagnosticar impactos ambientais em cada bacia hidrográfica e os possíveis agentes causadores desta degradação;
- d. Comparar os resultados das bacias estudadas e hierarquizar o grau de influência do uso da terra em termos da degradação ambiental nelas ocorridas;
- e. Propor, com base nas etapas anteriores, alternativas mitigadoras de uso e intervenções que permitam a preservação e/ou recuperação da qualidade ambiental no município.

1.3 Justificativa

A interferência do homem no meio ambiente vem modificando o espaço territorial em termos das formas de uso e ocupação das terras, uma vez que o crescimento acelerado força o homem a consumir mais intensamente o espaço geográfico. A importância do conhecimento da forma de ocupar esse território se faz necessário, pois permite caracterizar e avaliar a situação atual e as alterações ocorridas pela ação do homem no meio natural e proporcionar dados importantes para realização de um plano de manejo dos recursos terrestres do ponto de vista da sustentabilidade ambiental.

No entanto, as metodologias de diagnóstico ambiental em bacias hidrográficas urbanas de pequeno porte são insuficientes. Em sua maioria, os estudos se estendem a bacias hidrográficas de grande porte, que abarca vários municípios, o que dificulta uma gestão participativa e eficaz.

As bacias hidrográficas de pequeno porte influenciam diretamente na qualidade de vida dos municípios. Em geral, propor alternativas de gestão para estas bacias hidrográficas garantem a aplicabilidade da metodologia, visto que

planos de manejo que necessitem da adesão de vários municípios nem sempre são aplicáveis pela falta de interesse e participação de todos os municípios envolvidos.

Fazem-se necessários estudos mais detalhados e a proposição de metodologias aplicáveis para a definição da intensidade da degradação ambiental em bacias hidrográficas de pequeno porte, que atinjam um único município, a fim de subsidiar o poder público para a tomada de decisões referentes ao manejo, a recuperação e a criação de áreas de expansão urbana, tornando os impactos do uso da terra os menores possíveis.

Tendo em vista esse contexto, a importância de se estudar os impactos ambientais nas bacias hidrográficas que abrange a área urbana de Ilha Solteira (SP) justifica-se pela localização e uso da terra das mesmas, que lhes impõe, por exemplo, diferentes graus e intensidades de degradação ambiental. Nota-se também o diferencial de ser uma cidade planejada e instalada há poucos anos.

Os produtos cartográficos, frutos desta pesquisa, poderão proporcionar reavaliações e subsidiar decisões dos gestores públicos no que tange às ações de recuperação ambiental e à formalização de novos loteamentos e áreas de expansão urbana minimizando, assim, futuros impactos ambientais.

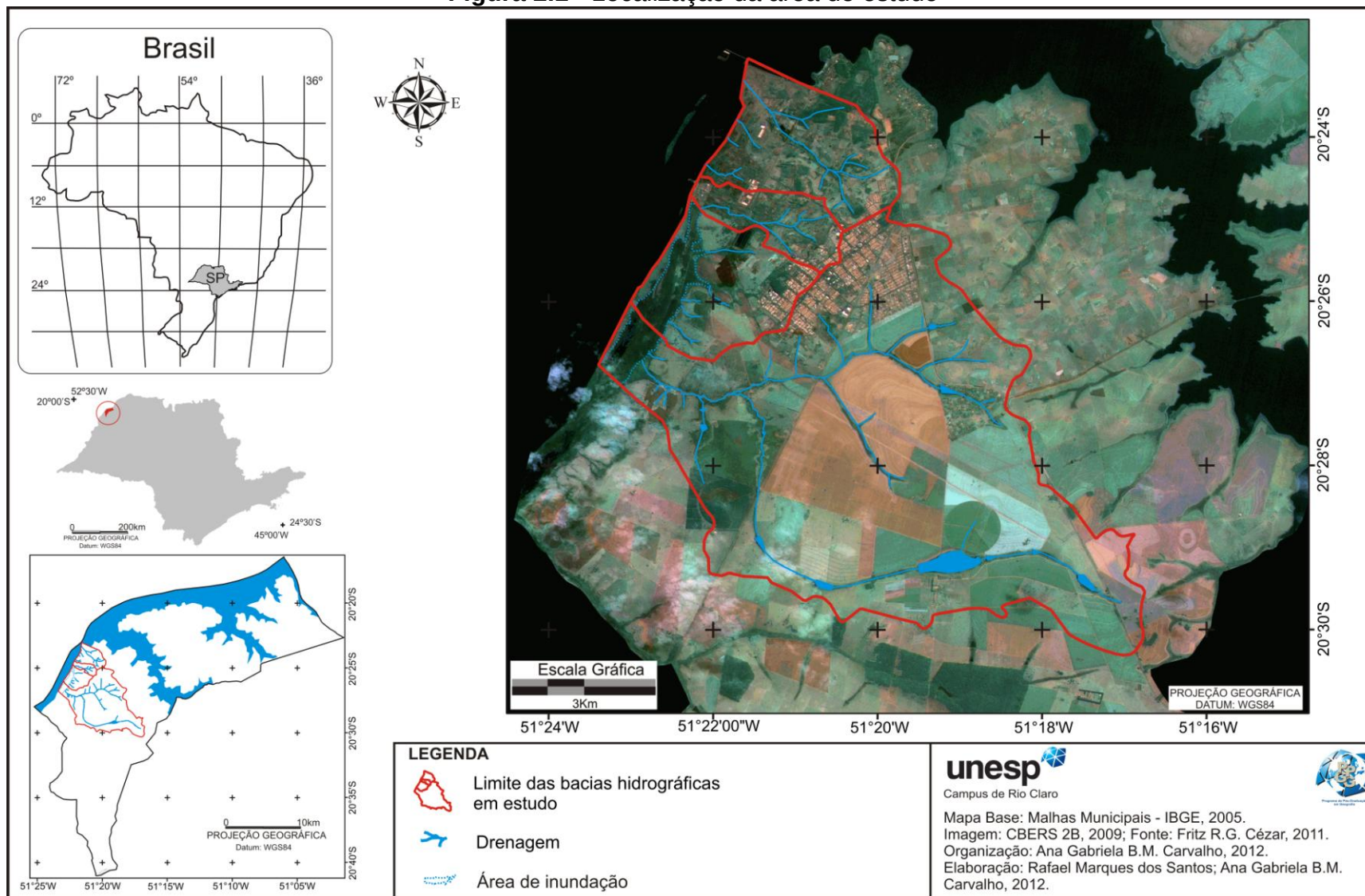
Nesse aspecto, as técnicas de Sensoriamento Remoto junto com os Sistemas de Informações Geográficas assumem papel importante como suporte à extração, análise e integração de dados georelacionais multitemáticos, em um único sistema. Isso permite combinar dados de uma variedade de fontes e naturezas, procedimentos e de outros bancos de dados já disponíveis.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada compreendeu quatro bacias hidrográficas urbanas de Ilha Solteira (SP) (figura 2.1). O município de Ilha Solteira situa-se entre as coordenadas geográficas 20°16'00" e 20°41'49" de latitude sul e 51°01'14" e 51°26'41" de longitude oeste, no extremo noroeste do estado de São Paulo, Brasil. Possui extensão territorial de 659 km² e população de 25.064 habitantes, sendo que 96% desta, 23.218 pessoas residem no centro urbano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

As referências mais antigas de Ilha Solteira datam de 30 de novembro de 1944, quando se tornou distrito do município de Pereira Barreto com o nome de Bela Floresta. A cidade teve seu desenvolvimento impulsionado pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, que movimentou um grande contingente de mão-de-obra, sendo que os traçados urbanos atuais foram planejados e implantados em 1968 para abrigar os trabalhadores na construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Mais tarde, em 8 de maio de 1989, por meio de uma lei municipal, sua sede foi transferida para o então povoado de Ilha Solteira, e o município de Ilha Solteira foi criado em 30 de dezembro de 1991 (CÉZAR, 2011). Possui características urbanísticas de cidade jardim, planejada em formato de um violão, com entornos bem arborizados por bosques e parques. Atualmente, é considerada uma estância turística pelo estado de São Paulo, fator que garante ao município verbas para a promoção do turismo regional.

Figura 2.1 - Localização da área de estudo



Fonte: autor

2.1 Histórico do Município de Ilha Solteira-SP

No período de planejamento da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira observou-se que a região próxima a ela apresentava uma rede urbana incipiente, com cidades muito distantes entre si. Neste contexto, decidiu-se pela edificação de um núcleo urbano com o intuito de alojar os trabalhadores que atuariam na construção da usina (TAVARES, 2008).

A construção desse núcleo iniciou-se em 1967, com sua ocupação ocorrida em 1968, tendo atingido em 1971 sua população máxima estimada em aproximadamente 32.000 habitantes. Em 1973, sua população era cerca de 26.000 habitantes, devido ao decréscimo provocado pelo término da obra principal (TAVARES, 2008).

Em razão do desenvolvimento das atividades comerciais e agropecuárias, somada a implantação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista, houve condições para o crescimento e desenvolvimento da cidade de forma a se tornar um núcleo urbano definitivo. No ano de 1991 a cidade emancipou-se do município de Pereira Barreto vindo a se constituir no atual município de Ilha Solteira (TAVARES, 2008).

A Prefeitura Municipal preocupou-se então em expandir as fronteiras da área urbana criando novos projetos habitacionais na forma de loteamentos no entorno da área. Esses loteamentos tiveram como principais finalidades a construção de habitações para população de baixa renda e a exploração do potencial turístico do entorno do lago do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (TAVARES, 2008).

Situada em uma área bem drenada, próxima ao rio Paraná, a cidade envolve cinco sub-bacias hidrográficas. Com relação ao uso da terra nestas bacias encontram-se classes de ocupação urbana, pastagens e plantio de cana-de-açúcar.

2.2 Legislação e o caso de Ilha Solteira/SP

Proteger o meio ambiente é responsabilidade tanto do poder público quanto da coletividade e está explícito na Constituição Federal brasileira através dos artigos 23 e 225 (BRASIL, 1988). O Artigo 23 expressa:

“É competência comum da União, dos Estados e do Distrito Federal e dos Municípios: VI - Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas [...]”.

O Art. 225 expõe: “Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

As diretrizes do município de Ilha Solteira se preocupam com a manutenção da qualidade ambiental e de suas características de cidade jardim e cidade verde, e prevê em sua legislação a proteção e recuperação de áreas de interesse ambiental. A Lei Complementar 151/2008, no seu artigo 63, indica os princípios da política municipal do Meio Ambiente:

- I - a promoção e manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, entendido como bem indissociável das condições necessárias à manutenção da vida;
- II - gerenciamento da utilização adequada dos recursos naturais baseadas na precaução e na ação conjunta do Poder Público e da coletividade, visando proteger, conservar e recuperar a qualidade ambiental, garantindo desenvolvimento sustentável;
- [...]
- V - realização de planejamento e zoneamento ambiental, bem como o controle e fiscalização das atividades potenciais ou efetivamente degradantes [...]. (ILHA SOLTEIRA, 2008)

Em seu artigo 66, o Município de Ilha Solteira (SP), afirma que estabelecerá a política ambiental em harmonia e articulação com a política ambiental regional, estadual e federal (ILHA SOLTEIRA, 2008).

A lei define a zona especial de proteção e recuperação ambiental:

São as porções do território municipal que, pelas suas características de localização e importância estratégica para a preservação e recuperação ambiental, necessitam especial atenção do poder público municipal quanto a sua priorização dentro do conjunto das ações e diretrizes municipais de uso e ocupação do solo e aplicação dos instrumentos da política urbana; Constituem áreas territoriais com características de uso e ocupação definidas por Reservas Florestais, Reservas Biológicas, Parques Naturais e Unidades de Conservação, APA - Áreas de Proteção Ambiental e RPPN - Reservas Particulares do Patrimônio Natural, aquelas com características de uso e ocupação definidas por áreas de risco geotécnico, áreas de vegetação permanente e APRM – Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais, preservação, recuperação,

proteção e conservação dos recursos naturais, Implementação de unidades e assentamentos sustentáveis para pesquisa e gestão ambiental, próprias para a compatibilização de atividades com a preservação, proteção, monitoramento e manutenção de áreas que integram o sistema de mananciais de interesse municipal e regional, prioritárias para o abastecimento público, para as atividades compatíveis com a incidência e conservação de áreas de vegetação remanescente, matas ciliares em APP - Áreas de Preservação Permanente e aquelas de risco geotécnico, promoção do turismo ecológico e as atividades de educação ambiental. (ILHA SOLTEIRA, 2008)

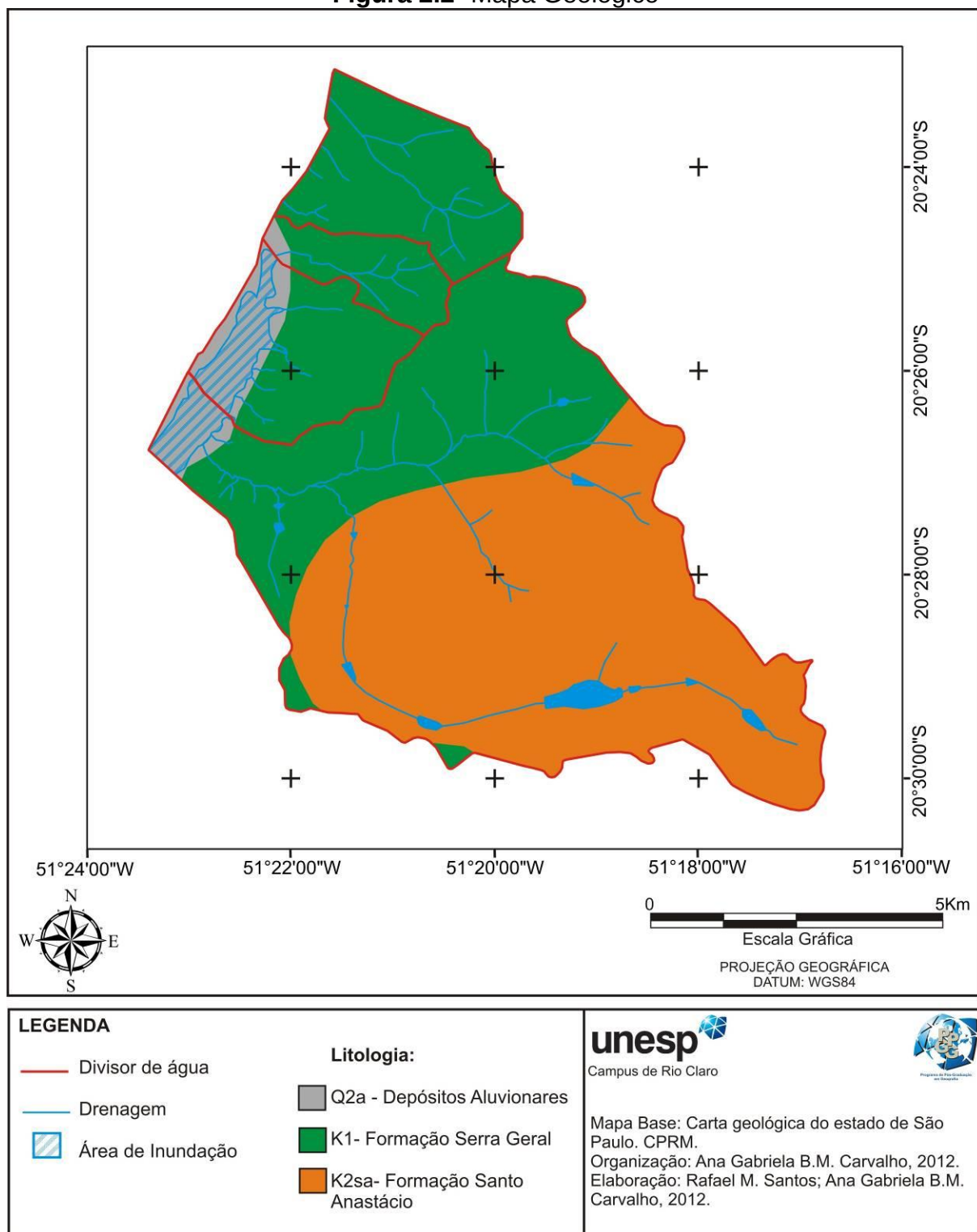
2.3 Aspectos físicos da área de estudo

A geologia está relacionada com a suscetibilidade de erosão do solo (BELTRAME, 1994). Nas bacias em estudo ocorrem depósitos aluvionares, formação Serra Geral e formação Santo Anastácio (quadro 2.1 e figura 2.2)

Para Crepani et al (2001), a maior ou menor suscetibilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores e os mais importantes são: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis.

Nas bacias em estudo são encontrados solos associados em duas grandes categorias: Latossolos, que pertencem as unidades de paisagens naturais estáveis (CREPANI et al, 2001) e argissolos, que pertencem as unidades de paisagens naturais intermediárias (CREPANI et al, 2001) (quadro 2.2 e figura 2.3).

Figura 2.2- Mapa Geológico



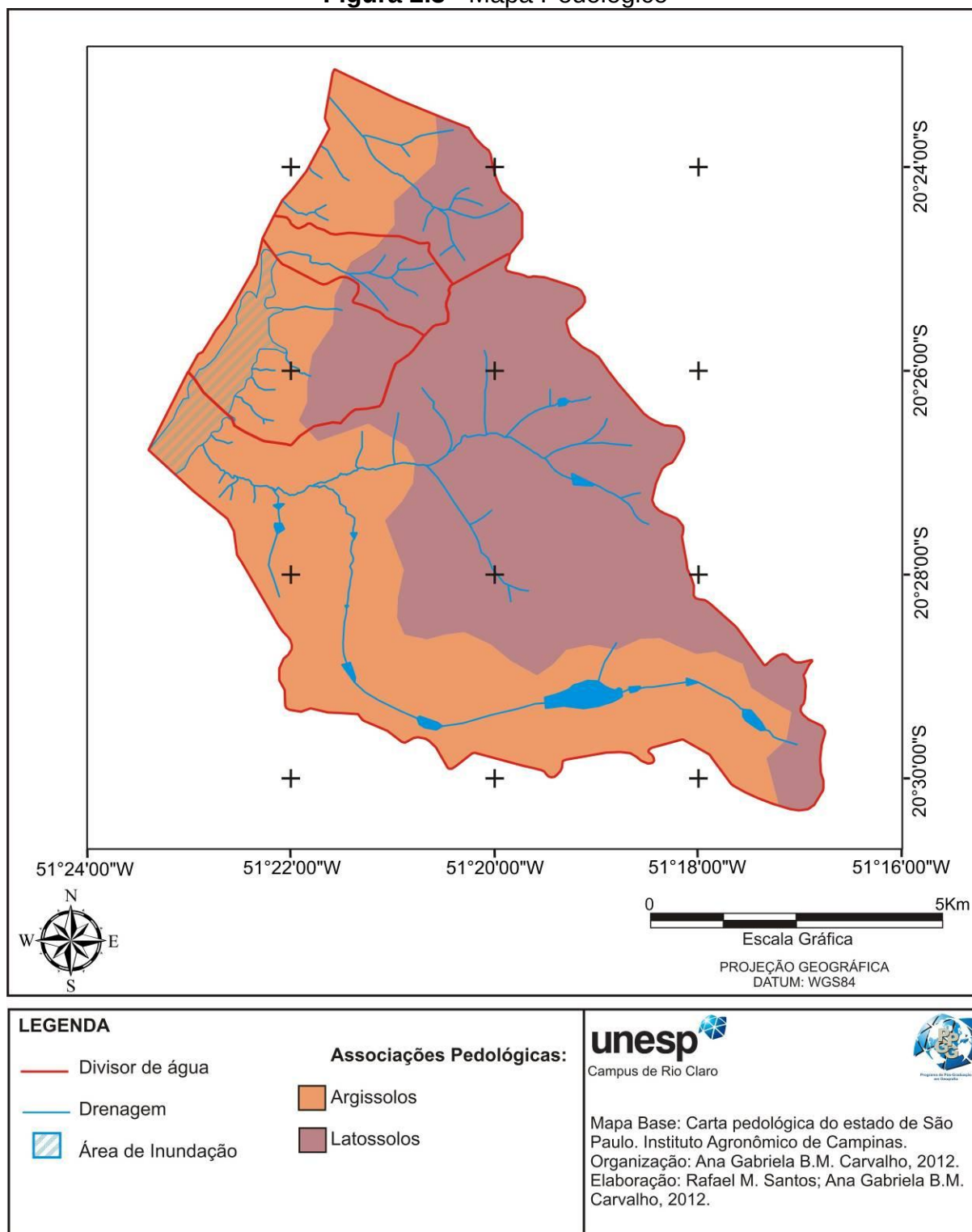
Fonte: autor

Quadro 2.1 - Descrição dos tipos litológicos nas bacias estudadas

Litologia	Descrição
Formação Santo Anastácio (Grupo Caiuá) Unidade Aquífera Bauru Inferior - Arenitos médios a finos, predominantemente finos, com pouca matriz e arenitos maciços de cor vermelho escura (CETEC, 1999).	Ocorre sobretudo nas calhas dos baixos vales dos afluentes do rio Paraná, em São Paulo - de modo restrito, no Paraná e em Minas Gerais -, com espessura máxima preservada de 70 a 100m. Apresenta passagens graduais e recorrentes para as formações Rio Paraná e Vale do Rio do Peixe. Onde repousa diretamente sobre basaltos da Formação Serra Geral, pode-se encontrar delgados estratos basais com fragmentos de basalto imersos em arenito imaturo, semelhantes aos da base das formações Rio Paraná e Goio Erê. A área de ocorrência da Formação Santo Anastácio contorna a da Formação Rio Paraná, para a qual passa gradualmente. Esta formação se caracteriza por estratos arenosos tabulares, de aspecto maciço típico, com espessura decimétrica (até 1m), e raras intercalações de estratos de lamitos e argilitos. Constitui-se de arenitos quartzosos subarcoseanos, quase sempre maciços, finos a muito finos, pobremente selecionados, com a fração silte subordinada, e pequena quantidade de matriz silto-argilosa. Os grãos são subangulosos a subarredondados, foscos, encobertos por uma película de óxido de ferro. O contexto deposicional consiste de depósitos de lençóis de areia, essencialmente secos, acumulados em extensas e monótonas planícies desérticas, marginais dos grandes complexos de dunas do sand sea (Deserto Caiuá). Mais raramente, depósitos de enxurradas de chuvas torrenciais esporádicas (wadis) (FERNANDES; COIMBRA, 2000)
Formação Serra Geral (Grupo São Bento) Unidade Aquífera Basalto - Basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos com arenitos intertrapianos (CETEC, 1999).	A porção basal da formação Serra Geral assenta-se diretamente sobre os arenitos eólicos da formação Botucatu, através de contato discordante abrupto. Em muitas situações normalmente em regiões próximas as bordas da bacia, há presença de lentes de arenito Botucatu, com até 20 metros de espessura e até algumas centenas de metros de extensão, intercalados em meios aos derrames de basalto. É constituída essencialmente por três litotipos facilmente reconhecíveis por suas características petrográficas e geoquímicas: Rochas básicas intermediárias (basaltos, andesi-basaltos e andesitos de afinidade toleítica), rochas ácidas do tipo Chapecó (dacitos, riodacitos, quartzo latito e riolito), rochas ácidas do tipo Palma (riolitos e riodacitos tipicamente afíridicos). (NARDY et al, 2002). Nelas intercalam-se arenitos, a maioria com estruturas típicas de dunas e outras indicando deposição subaquosa (IPT, 2010).
Depósitos Aluvinares (Quartenários)	Ocorre nos vales. Areias e argilas conglomerados na base (CETEC, 1999). São originados por erosão e deposição dos produtos do intemperismo de litologias mais antigas. O processo formador é hidráulico-deposicional, fluvial no interior do continente, condicionado às calhas de drenagem dos rios e planícies de inundação, e marinho e deltaico na faixa litorânea.

Fonte: FERNANDES; COIMBRA (2000); NARDY et al (2002); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (2010); CETEC (1999).

Figura 2.3 - Mapa Pedológico



Associações Pedológicas: **ARGISSOLOS:** argissolo vermelho-amarelo eutrófico + argissolo vermelho distrófico e eutrófico ambos de textura arenosa/média e média relevo ondulado suave ondulado + latossolo vermelho distrófico textura média relevo plano a moderado. **LATOSSOLOS:** latossolo vermelho distrófico a moderado textura argilosa relevo plano e suave ondulado.

Fonte: autor

Quadro 2.2 - Descrição dos tipos de solo nas bacias estudadas

Tipos de Solo	Características
Latossolos	Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados solos cujos materiais são os mais decompostos. São considerados solos velhos ou maduros. Devido ao intenso processo de intemperismo e lixiviação que foram submetidos, estes solos apresentam quase que uma ausência total de minerais facilmente intemperizáveis e/ou minerais de argila 2:1, por outro lado neles ocorre uma concentração residual de sesquióxidos (óxido de alumínio, Al_2O_3 e óxido de ferro, Fe_2O_3), além de argila do tipo 1:1. São solos que possuem boas propriedades físicas: permeabilidade à água e ao ar, e mesmo com alta porcentagem de argila; são porosos, friáveis, de baixa plasticidade. A principal limitação ao uso agrícola é a baixa fertilidade natural; mesmo os eutróficos contêm baixa soma de bases e não possuem reserva de nutrientes. Apresentam ainda, os horizontes A, B, e C bem desenvolvidos. São em geral, solos pouco suscetíveis aos processos erosivos. Ocorrem geralmente em topografia mais suaves.
Argissolos	Os argissolos (solos Podzólicos), quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas. Nos argissolos ocorre também um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila translocou-se por eluviação do horizonte A para o horizonte B, onde se acumulou. Nestes solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos.

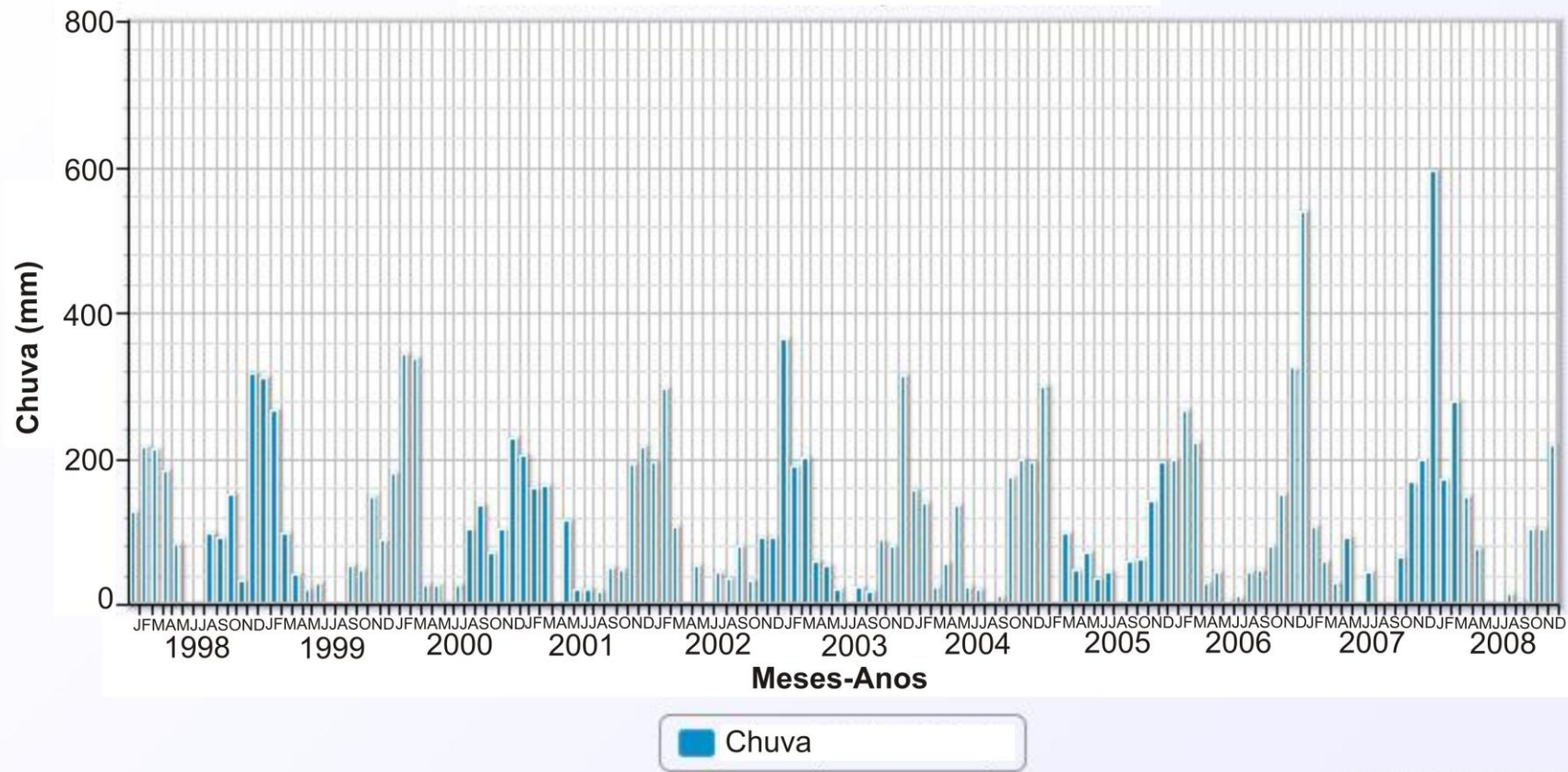
Fonte: Adaptado de CREPANI et al (2001).

O clima é um fator natural que, direta ou indiretamente, influencia na degradação dos recursos naturais, principalmente na degradação do solo quando a chuva intensa exerce influencia bastante expressiva (BELTRAME, 1994). Em Ilha Solteira o clima é do tipo Aw, tropical com inverno seco (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA, 2010).

Para Ilha Solteira, a precipitação média varia em torno de 110mm/mês, sendo que os meses mais chuvosos vai de outubro a abril, e os mais secos de maio a setembro (figura 2.4). Os dados para temperatura revelam que a média anual varia em torno de 25°C, sendo que as médias para temperaturas máximas variam entre 28°C e se distribuem na maioria dos meses, e as médias para temperaturas mínimas variam em torno de 19°C e acontecem principalmente entre os meses de maio, junho e julho (figura 2.5).

Figura 2.4 - Precipitação média mensal**Total de Chuva Mensal**

Período de 1998 a 2008 - Ilha Solteira

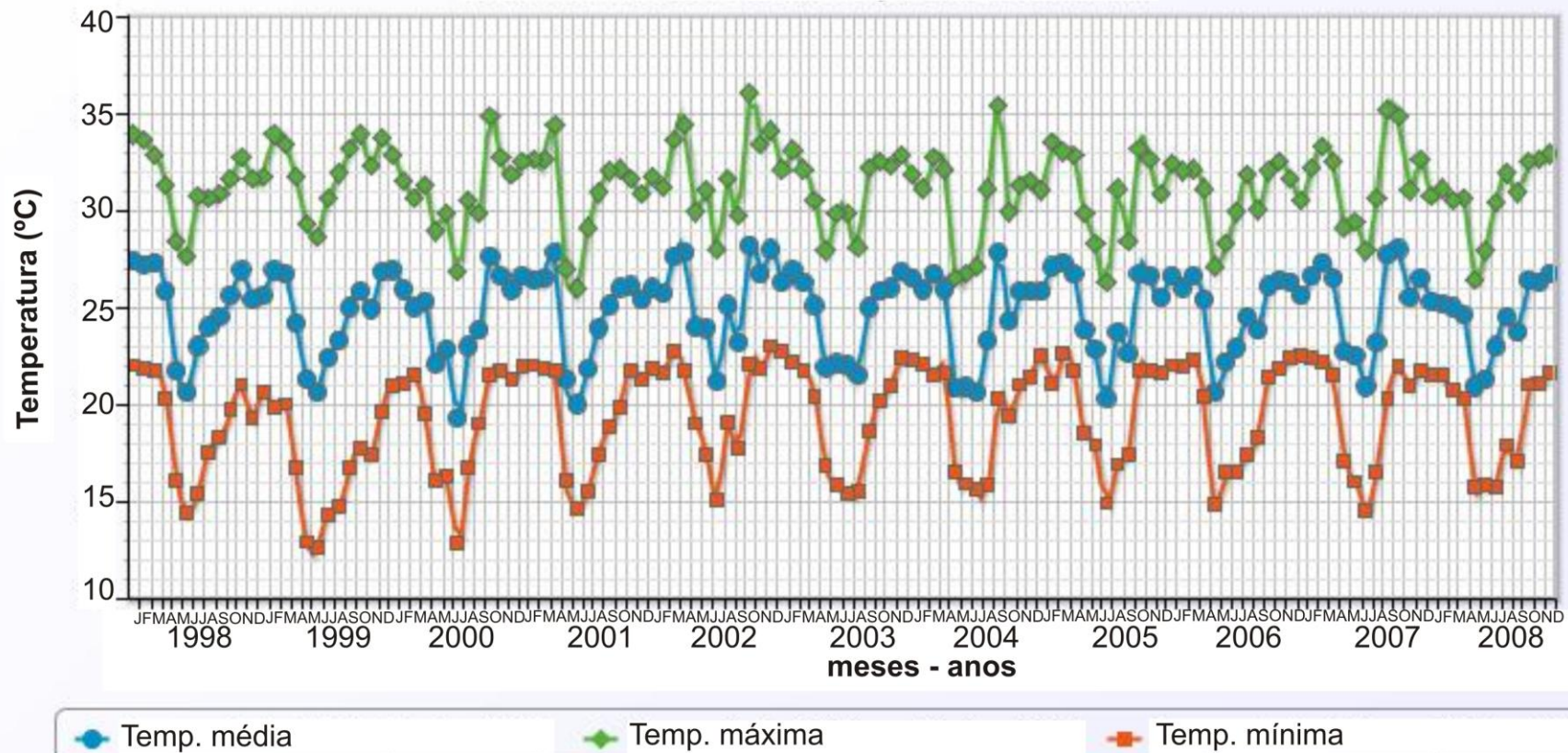


Source: clima.feis.unesp.br

Fonte: clima.feis.unesp.br

Figura 2.5 - Temperatura média mensal**Temperatura Média do Ar Mensal**

Período de 1998 a 2008 - Ilha Solteira



Source: clima.feis.unesp.br

Fonte: clima.feis.unep.br

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Utilizou-se como base teórica autores clássicos e atuais sobre as temáticas propostas na pesquisa.

3.1 O uso de bacias hidrográficas como objeto de gestão ambiental

O uso de bacia hidrográfica como unidade de gestão natural, teve sua consolidação na década de 1970 em consequência da necessidade de promover a recuperação ambiental e a manutenção de recursos naturais escassos como a água. No entanto, para Porto; Porto (2008), a gestão dos recursos hídricos baseados na visão das bacias hidrográficas só ganhou força a partir de 1992, com a criação e difusão dos "Princípios de Dublin"¹.

O Relatório da Conferência de Dublin sugere recomendações de ação em níveis locais, nacionais e internacionais (DOMINGUES, 2012, p.3):

Princípio nº 1 - A água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente.

Princípio nº 2 - Gerenciamento e desenvolvimento da água deverá ser baseado numa abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores legisladores em todos os níveis.

Princípio nº 3 - As mulheres formam papel principal na provisão, gerenciamento e proteção da água.

Princípio nº 4 - A água tem valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

O documento coloca que para a efetiva gestão dos recursos hídricos deve-se buscar a integração e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos, sugerindo assim uma gestão baseada nas bacias hidrográficas (PORTO; PORTO, 2008).

No Brasil, a Lei Federal número 9.433, de 8 de janeiro de 1997 consagra a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de

¹ Reunião preparatória à Rio-92 em Dublin, Irlanda, nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992. Quinhentos participantes, incluindo especialistas designados pelo governo, de cem países e representantes de oitenta organismos internacionais, intergovernamentais e não-governamentais participaram da Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente (ICWE) em Dublin, Irlanda, nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992.

Recursos Hídricos, e prevê a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, entre elas as diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais, culturais e de uso da terra (BRASIL, 1997).

Neste contexto, a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial utilizada em estudos de gestão para o planejamento territorial, possuindo os estudos relacionados à rede de drenagem, função relevante para compreensão do espaço geográfico e no desenvolvimento de projetos e ações para a melhoria das condições ambientais (BRIGUENTI, 2005).

Pode-se considerar que as bacias hidrográficas são sistemas complexos caracterizados como escoadouros naturais das áreas de drenagens adjacentes e que a complexidade do estado destes sistemas deve-se às condições naturais (solos, rochas e vegetação existentes), à geometria da bacia de drenagem (dimensões e formas de seus componentes), e ao uso da terra, além das condições climáticas locais (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

Para Tucci (1997), a bacia hidrográfica é composta por um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem que pode ser entendida como uma área de captação natural da água de precipitação, que escoar para um único ponto de saída (o exutório) (figura 3.1).

Figura 3.1: Desenho ilustrativo de uma bacia hidrográfica



Fonte: www.ana.gov.br

Na área da bacia hidrográfica se desenvolve todas as atividades humanas (urbanas, industriais, agrícolas), sendo que todos esses processos geram consequências diretas e indiretas sobre o meio físico natural da bacia hidrográfica. Neste contexto, vê-se a questão da gestão das bacias hidrográficas de acordo com o interesse e a problemática envolvida:

A questão da escala a ser utilizada depende do problema a ser solucionado. Pode ser delimitada a totalidade da bacia do Rio Amazonas, desde suas cabeceiras mais distantes na cordilheira andina até seu exutório do Oceano Atlântico, assim como podem ser delimitadas suas sub-bacias, maiores ou menores, dependendo da necessidade do problema a ser abordado. Diz-se que o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Pode-se ter interesse em uma pequena bacia de 0,5 km² numa área urbana, como na bacia do Rio São Francisco, com mais de seus 600.000 km² de área. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos. (PORTO; PORTO, 2008, p. 45).

Vale ressaltar que apesar do Brasil instituir como dever da União o papel da gestão dos recursos hídricos² (BRASIL, 1988), a bacia hidrográfica não é vista como recursos hídricos e sim como unidade territorial (Lei 9.433/1997). Sendo assim, a gestão deste território deve ser integrada e atribuída a União, aos Estados e aos Municípios que esta bacia hidrográfica abriga.

Através do Comitê de Bacia Hidrográfica, previsto na Lei n. 9.433 (BRASIL, 1997), a decisão e gestão das bacias hidrográficas podem ser trazidas ao nível local, possibilitando uma gestão caso a caso, dando a possibilidade de conformá-las de acordo com a escala e as características da problemática local (PORTO; PORTO, 2008).

No campo da Geografia, as bacias hidrográficas são consideradas unidades de investigação mais antigas, formada por uma rede de drenagem de um rio principal com seus afluentes, sendo composta por subsistemas (sub-bacia) e com diferentes ecossistemas (várzea, terra firme, etc). Nesse sentido é necessário realizar estudos diagnósticos a fim de subsidiar planos de gestão dos recursos hídricos, tendo em vista o desenvolvimento econômico e social em harmonia com a

² Art. 20. São bens da União:

[...]

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

[...]

(BRASIL, 1988)

natureza com o mínimo de degradação possível. Portanto, a preocupação de se estudar uma dada bacia e elaborar propostas para melhor atender o desenvolvimento harmônico, sendo este muito difícil mais com propósitos de mitigar alguns impactos causados pela ação antrópica. (CUNHA; COELHO, 2003).

Sendo assim, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o planejamento dos recursos hídricos, pois se podem levantar nela dados ambientais relevantes, como aspectos climáticos, relevo, características geológicas, hidrologia, uso e ocupação das terras, qualidade da água, possibilitando assim a caracterização, classificação, os diagnósticos, prognósticos e o zoneamento ambiental do sistema (MORAES, 2001).

3.2 As Geotecnologias: As Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

Desde 1856 o homem faz uso de meios tecnológicos para se conhecer a superfície do planeta. A primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão para fins militares (FLORENZANO, 2011). No entanto, a ideia de se tirar fotografias aéreas com o uso de balões para uso topográfico já havia sido patenteada pelo francês Gaspard-Félix Tournachon, conhecido por "Nadar"³ (figura 3.2).

³ O fotógrafo e aeronauta francês Gaspard-Félix Tournachon, conhecido por "Nadar", (1820-1910) foi o primeiro a tirar fotografias aéreas sobre Paris, em cima de um balão, em 1858 (em 1855 ele patenteou a ideia de utilizar fotografias aéreas na elaboração de mapas e nos levantamentos topográficos).

Figura 3.2: Paris, 1858

Fonte: <http://myweb.unomaha.edu/>

A utilização de fotografias aéreas se intensificou com o surgimento das fotografias aéreas tiradas por aviões (1909), e durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial (FLORENZANO, 2011). Na década de 1960 surgem as primeiras fotografias orbitais da superfície terrestre tiradas de satélites tripulados (Mercury, Gemini e Apolo) e em 1972 foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, ERTS-1, mais tarde denominado Landsat-1 (FLORENZANO, 2011).

Neste contexto, as geotecnologias são compostas por soluções em hardwares, softwares e peoplewares (pessoas que manipulam os hardwares e softwares) que promovem a coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de dados. Segundo Câmara et al (1996), a estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possui os seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e integração dos dados; armazenamento e recuperação de dados (sistemizados sob forma de um banco de dados geográficos).

Os Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas computacionais para geoprocessamento que torna possível a automatização da produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al, 2001). O desenvolvimento dos SIGs porém, deve-se também a outros fatores, como a evolução dos computadores (hardware) e dos programas específicos (software) (FITZ, 2008).

Segundo Câmara et al (2000), o termo Sistema de Informações Geográficas (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Para Fitz (2008), os produtos gerados por um SIG vinculam-se ao espaço físico, mas com interação entre os fenômenos climáticos, humanos, sociais e econômicos, possibilitando assim informações para subsidiar a gestão e a tomada de decisões. Para o autor: "As aplicações desses sistemas demonstram ser [...] incontáveis. Ações vinculadas ao planejamento, à gestão, ao monitoramento, ao manejo, à caracterização de espaços urbanos ou rurais certamente serão melhor trabalhadas com o auxílio de um SIG [...]" (FITZ, 2008, p. 26).

A capacidade de realizar operações com dados espaciais permite ao SIG o levantamento, manipulação digital, mapeamento e a análise de um conjunto de atributos georreferenciados. Com isso, os aplicativos SIGs estão, de forma crescente, contribuindo na produção do conhecimento científico e na tomada de decisão do planejamento urbano, regional e nacional (BRIGUENTI, 2005).

Pode-se dizer que a partir de uma imagem de satélite, analisa-se o conjunto integrado do território e separa-se em diferentes unidades de paisagem para melhor compreensão dos dados do ambiente em questão.

3.3 Modelagem Ambiental

O processo de modelagem consiste justamente em produzir representações da estrutura e/ou funcionamento de um sistema com o objetivo de melhor compreender a realidade observada (LIMA, 2010). Para Brum et al (2011), a modelagem ambiental é qualquer abstração do mundo natural com algum poder de prever eventos com base em princípios gerais. A modelagem constitui-se importante instrumento para analisar as características e investigar mudanças nos sistemas ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A modelagem e simulação de sistemas têm sido utilizadas nos mais diversos campos científicos na busca de um melhor entendimento do objeto de estudo e maior compreensão da realidade observada. O estudo de fenômenos dos sistemas ambientais, devido à sua natureza inerentemente complexa, exige a utilização de técnicas e ferramentas de modelagem e simulação para representar e estudar o

funcionamento dos processos antrópicos e biofísicos e suas interações (LIMA, 2010).

A modelagem deve considerar que os processos da natureza resultam de interações espaço-temporais complexas entre os diversos elementos que os compõem, ou seja, as propriedades ambientais (FELGUEIRAS, 2001). Como os modelos ambientais representam sistemas ambientais, é fundamental que eles abordem a técnica transdisciplinar em sua concepção, pois sabemos que no ecossistema as disciplinas/dimensões não são segmentadas, e sim, todas interligadas, sendo que este se torna o maior desafio para o alcance da construção e entendimento de um modelo (BORGES, 2011).

Um modelo é uma abstração de fatos ou de entidades do mundo real, e um dado espacial, para ser trabalhado dentro de um SIG, deve ser representado por um modelo computacional (FELGUEIRAS, 2001). A modelagem computacional é uma grande aliada da modelagem ambiental ao delinear desde a concepção dos princípios na forma de equação matemática, o que permite em muitas situações, avaliar até mesmo em tempo real e com boa precisão, os impactos ambientais envolvidos em problemas como: dispersões de poluentes em rios ou atmosfera, dinâmicas hídricas, mudanças climáticas, entre outras (BRUM et al, 2011).

3.3.1 O conceito de Ecodinâmica de Tricart

Para Tricart (1977, p.32), "o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente [...]".

Para Tricart (1977) o meio é dinâmico e está em constante modificações à interface atmosfera-litosfera; assim o autor define três grandes tipos de meios morfodinâmicos (quadro 3.1):

- **Meios Estáveis:** Tem uma lenta evolução resultante da permanência no tempo de combinações de fatores. Encontram-se em regiões morfodinamicamente estáveis, com cobertura vegetal fechada, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas.

- **Meios Intergrades:** São meios de transição entre os meios estáveis e os meios instáveis. Possui uma interferência permanente de morfogênese e pedogênese no mesmo espaço que variam em função de dois critérios, qualitativo e quantitativo. Qualitativo quando os processos morfogênicos afetam unicamente a superfície do solo e não alteram os horizontes do perfil, afetando diretamente a cobertura vegetal. O ponto de vista quantitativo está relacionado ao balanço pedogênese/morfogênese e aos movimentos de massa que afetam o solo em toda a sua espessura e causam diferenciação do solo em todos os seus horizontes.
- **Meios Fortemente Instáveis:** Nesses meios a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão subordinados: Deformações tectônicas, cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.

Quadro 3.1: Unidades de Paisagem para Tricart (1977)

Unidade	Relação Pedogênese-Morfogênese
Estável	Prevalece a Pedogênese
Intermediária	Equilíbrio entre Pedogênese-Morfogênese
Instável	Prevalece a Morfogênese

Adaptado de Tricart (1977)

Segundo Tricart (1977, p.65): "A organização ou reorganização do território exige um diagnóstico preliminar destinado a esclarecer a escolha [...] e as características físicas constituem elemento importante a ser levado em consideração[...]".

Este diagnóstico é importante tanto para o planejamento urbano, quanto para o rural. No urbano é necessário conhecer as aptidões dos terrenos para construção, principalmente as limitações por eles impostas a fim de se evitar custos desnecessários na construção e manutenção. No rural, o meio natural fornece os recursos essenciais para produção e a economia (TRICART, 1977).

Tricart (1977) repassa etapas sucessivas para o levantamento dos aspectos do meio natural a fim de deduzir um primeiro diagnóstico:

A. Definição do quadro regional:

1. Condições Climáticas: Definir o clima regional
2. Condições Morfoestruturais:
 - I. Pelas características tectônicas (deformações recentes e antigas)
 - II. Pela litologia (substratos geológicos)

B. Análise Morfodinâmica

1. Sistemas Morfogenéticos (clima, relevo e litologia)
2. Estudo dos processos atuais:
 - I. Pela natureza dos processos atuais
 - II. Pela intensidade dos processos
 - III. Pela distribuição dos processos
3. Influências Antrópicas
4. Grau de estabilidade Morfodinâmica (Sistemas Morfogenéticos X Degradação Antrópica)

C. Recursos Ecológicos

1. Recursos e regimes hídricos
2. Condições ecoclimatológicas
3. Solos
4. Diagnóstico agrológico

D. Problemas da gestão do território

1. Apresentação dos manejos possíveis
2. Classificação das regiões em função da gestão

3.3.2 Modelos de fragilidade ambiental

- *Modelo de fragilidade com base nos índices de dissecação do relevo*

Este modelo propõe uma análise integrada das variáveis relevo, solos, uso da terra/cobertura vegetal e clima. Cada uma destas variáveis são hierarquizadas em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis

apresentarão valores mais próximos de 1, as intermediárias ao redor de 3 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5 (SPORL, 2007).

Da combinação desses conjuntos arábicos é possível hierarquizar os graus de fragilidade. Por exemplo, o conjunto numérico 1111 representa uma área com relevo de dissecação muito fraco, solos de muito fraca erodibilidade, recobertos por mata e com uma situação pluviométrica regular com volumes próximos de 1000 mm/ano. Já o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis vulneráveis à erosão. Como por exemplo, uma área com um relevo fortemente dissecado, com solos muito frágeis aos processos erosivos, desprovida de cobertura vegetal, e ainda, com situações pluviométricas com distribuição irregular e volumes superiores a 2500 mm/ano (SPORL, 2007).

Ross (1994) sistematizou uma hierarquização da fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas classes de fragilidade expressam, principalmente, a vulnerabilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso, e concentrado das águas pluviais.

Através desta análise empírica proposta é possível estabelecer quais áreas podem ser consideradas como mais críticas do ponto de vista da fragilidade potencial natural, sendo que a dissecação do relevo (1º dígito) é a variável que determina o grau de fragilidade de cada área analisada, e as demais variáveis irão hierarquizar através de seus coeficientes (SPORL; ROSS, 2004).

- *Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade*

Neste modelo, ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo como suporte para a confecção da carta-síntese de fragilidade, usa-se as classes de declividade. Essas classes de declividade são hierarquizadas em cinco categorias: Muito Fraco – < 6%; Fraco – 6 a 12%; Médio – 12 a 20%; Forte – 20 a 30%; e Muito Forte – > 30% (SPORL; ROSS, 2004).

As demais variáveis são classificadas em cinco graus diferenciados de fragilidade (quadro 3.2).

Quadro 3.2 - Variáveis de Fragilidade

Variáveis	Definição	Graus de Fragilidade
Declividade	Categoria hierárquica	Muito fraca (1) a muito forte (5)
Solos	Classe de fragilidade	Muito baixa (1) a muito forte (5)
Cobertura Vegetal	Grau de proteção	Muito alto (1) a muito baixo/nulo (5)
Pluviosidade	Categoria hierárquica	Muito fraca (1) a muito forte (5)

Fonte: Adaptado de Spurl; Ross, 2004.

A classificação da fragilidade compõe-se da combinação numérica desses quatro dígitos, que representam as características de cada variável presente numa determinada área (SPORL; ROSS, 2004).

- *Modelo de fragilidade com base em UTBs – unidades territoriais básicas*

Esta metodologia consiste primeiramente na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem, ou Unidades Territoriais Básicas (UTBs), obtido através da análise e interpretação de imagem (SPORL, 2007). Posteriormente associa-se o mapa preliminar de unidades homogêneas com as informações temáticas preexistentes: mapas geológico, geomorfológico, pedológico, de cobertura vegetal e dados da intensidade pluviométrica (SPORL, 2007).

Para cada tema é agregado valor de fragilidade que varia entre 1 e 3. Estes valores individuais são somados, e então, obtidos uma média resultando em um valor final que representa a posição desta unidade de paisagem natural dentro da escala de vulnerabilidade à perda de solo. As unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 3,0 (SPORL, 2007).

3.4 Fragilidade Ambiental com base em Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

A metodologia proposta por Crepani et al (2001) foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica. Nesta análise quando predomina a morfogênese

prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos (TRICART, 1977) e da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem (CREPANI et al, 2001).

Os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) estabelecem as seguintes categorias morfodinâmicas :

I. Meios estáveis:

- cobertura vegetal densa;
- dissecação moderada; e
- ausência de manifestações vulcânicas

II. Meios intergrades:

- balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas

III. Meios fortemente instáveis:

- condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas;
- relevo com vigorosa dissecação;
- presença de solos rasos;
- inexistência de cobertura vegetal densa;
- planícies e fundos de vales sujeitos a inundações; e
- geodinâmica interna intensa.

Segundo Crepani et al (2001), os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo capaz de avaliar, de forma relativa e empírica, o estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas (quadro 3.3).

Quadro 3.3 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al (2001).

Para Crepani et al (2001), o modelo procura contemplar maior variedade de categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma escala de vulnerabilidade para situações que ocorram naturalmente através de um modelo mostrado que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0) (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas

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

Fonte: CREPANI et al, 2001.

Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado, ou seja, cada unidade territorial básica recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo (SPORL; ROSS, 2004):

$$\text{VULNERABILIDADE} = \frac{(G + R + S + V + C)}{5}$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0, as unidades de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0, enquanto que as unidades territoriais básicas mais vulneráveis apresentam valores mais próximos de 3,0 (CREPANI et al, 2001).

Portanto, com este modelo é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico e de uso da terra de uma determinada região (geologia, geomorfologia, pedologia, de cobertura vegetal e uso da terra). O grau de vulnerabilidade é baseado nos processos de morfogênese e pedogênese, e expresso pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem (CREPANI et al, 2001).

3.5 Diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas urbanas

A metodologia do DFC (diagnóstico físico-conservacionista) surgiu para avaliar a situação real em que se encontram os recursos naturais de um dado espaço geográfico com o intuito de se obter um instrumento para subsidiar a preservação (BELTRAME, 1994).

Beltrame (1994) adaptou o DIBH (diagnóstico integral da bacia hidrográfica) utilizado na Venezuela, que é bastante amplo e abrange não somente os fatores físicos, mas também sócio-econômicos, fauna, dentre outros parâmetros. A aplicação do DFC foi adaptada para a realidade de uma bacia hidrográfica no município de Brusque (SC-Brasil). Este diagnóstico adaptado fornece indicativos concretos para a condução racional do uso e manejo de recursos naturais renováveis, com vistas à sua preservação.

Para isto, Beltrame (1994) elegeu indicadores potenciais de proteção ou de degradação dos recursos naturais renováveis, sendo que esses foram selecionados em virtude de sua capacidade potencial intrínseca de contribuir ou refletir a degradação desses recursos em uma bacia hidrográfica.

Consideraram-se quatro grandes fatores potenciais naturais de degradação física, e a partir deles definiram-se sete parâmetros (BELTRAME, 1994):

I. Vegetação:

- a. Pelo grau de semelhança entre a cobertura vegetal atual e a cobertura vegetal original (CO)
- b. Pelo grau de proteção da cobertura vegetal fornecido ao solo (CA);

II. Clima

- a. Pela erosividade da chuva (E)
- b. Pelo balanço hídrico (BH);

III. Características geológicas e pedológicas

- a. Pela suscetibilidade da textura à erosão, associada a declividade (PE)
- b. Pela densidade de drenagem (DD);

IV. Características do relevo

- a. Pela declividade média (DM).

Os parâmetros levantados serão expressos de forma numérica, através de uma fórmula descritiva. Para cada parâmetro encontrado definiu-se um índice de acordo com a classificação estabelecida. Estabeleceu-se como padrão de melhores condições a somatória dos índices mínimos de cada parâmetro. Ou seja, quanto maiores os valores dos índices de cada parâmetro, maior o potencial de risco de degradação dos recursos (BELTRAME, 1994).

A fórmula descritiva proposta por Beltrame (1994) é:

$$E(f): CO_a CA_b DM_c E_d PE_e DD_f BH_g$$

Onde:

E(f) - é o estado físico-conservacionista do setor, que é proporcional aos parâmetros:

CO_a - grau de semelhança entre a cobertura vegetal atual e a cobertura vegetal original; “a” é o índice específico do parâmetro CO, que varia entre 1 (altamente semelhante) e 5 (nenhuma semelhança).

CA_b - proteção da cobertura vegetal atual fornecida ao solo; “b” é o índice específico do parâmetro CA, que varia entre 1 (máxima proteção) e 7 (nenhuma proteção).

DM_c - declividade média; “c” é o índice específico do parâmetro DM, que varia entre 1 (plano a suave ondulado) e 5 (escarpado).

E_d - erosividade da chuva; “d” é o índice específico do parâmetro E, que varia entre 1 (erosão débil) e 5 (erosão excessiva).

PE_e - potencial erosivo dos solos; “e” é o índice específico do parâmetro PE, que varia entre 1 (nulo a ligeiro) e 4 (muito forte).

DD_f - densidade de drenagem; “f” é o índice específico do parâmetro DD, que varia entre 1 (baixa densidade) e 4 (muito alta densidade).

BH_g - balanço hídrico; “g” é o índice específico do parâmetro BH, que varia entre 1 (balanço hídrico muito alto) a 4 (balanço hídrico baixo).

4. METODOLOGIA

Nesta pesquisa considerou-se e adaptou-se as etapas definidas por Tricart (1977) para a formulação de um diagnóstico ambiental: Definição do quadro regional, análise morfodinâmica, recursos ecológicos e problemas da gestão do território.

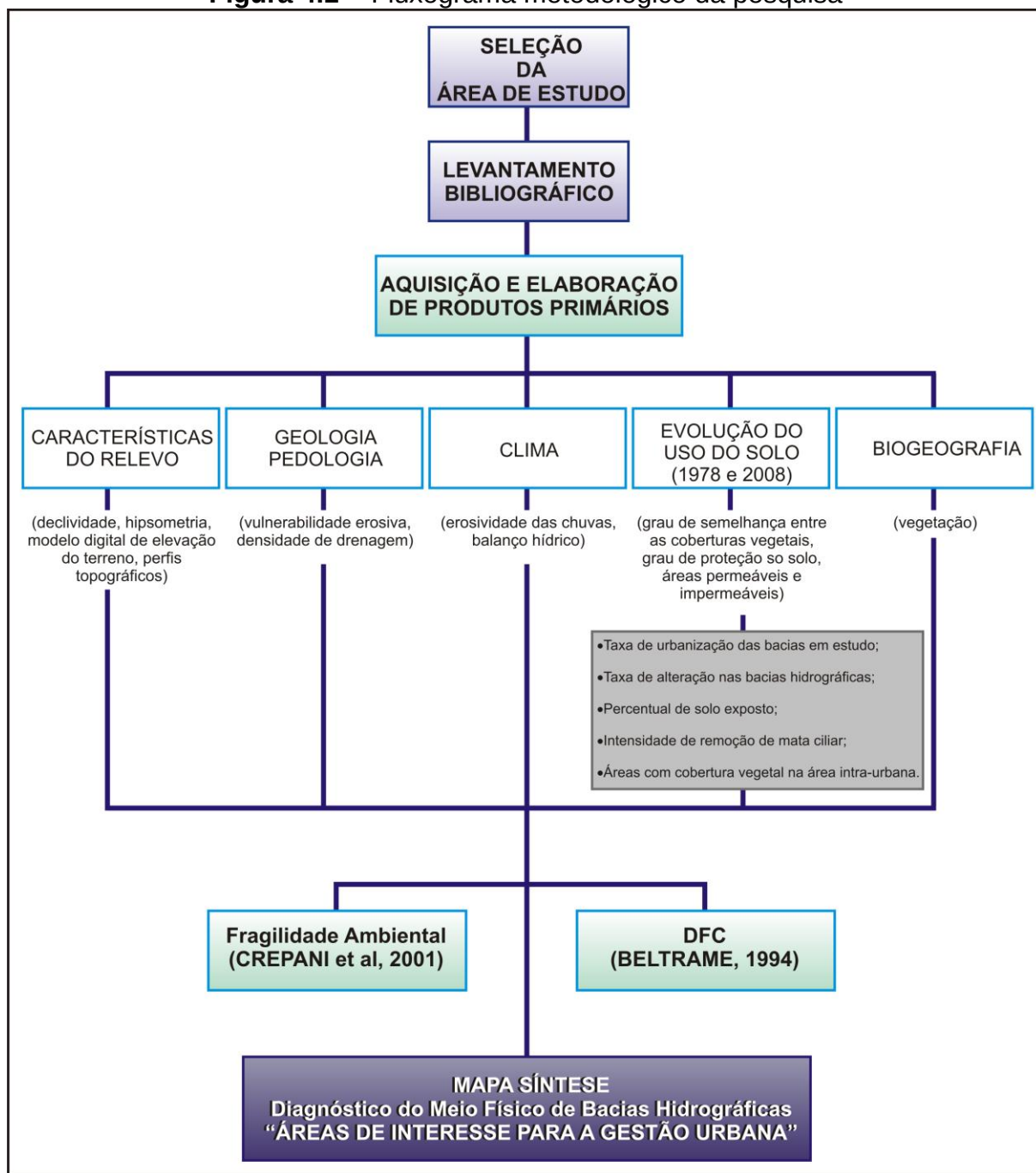
Sendo assim, o estudo dos atributos do meio físico seguiu a metodologia de Tricart (1977) que analisa o ambiente sob a ótica da teoria dos sistemas, onde na natureza as forças de energia e matérias processam-se através do homem, alterando o equilíbrio dinâmico.

Um mapa síntese foi gerado a partir do cruzamento de dados pré-definidos. Por fim, foram elaboradas proposições para a conservação e recuperação ambiental das bacias hidrográficas em estudo (figura 4.1).

Outras duas metodologias foram escolhidas para serem testadas para posterior comparação: a de “Fragilidade Ambiental”, de Crepani et al (1996), e a de “Diagnóstico Físico-conservacionista de Bacias Hidrográficas” (DFC), adaptado de Beltrame (1994).

O estudo dos atributos do meio físico seguiu a metodologia de Tricart (1977), onde na natureza as forças de energia e matérias processam-se através do homem, alterando o equilíbrio dinâmico. Neste contexto, Crepani et al (2001) ajustou a metodologia proposta por Tricart (1977), e deu ênfase ao uso de geotecnologias para elaborar mapas de fragilidade ambiental. Sendo assim, são de extrema importância ao planejamento os estudos de fragilidades potenciais e emergentes do ambiente, pois estes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (SPÖRL, 2001).

O DFC tem como objetivo determinar o potencial de degradação ambiental de uma bacia a partir de fatores naturais. Beltrame (1994) apresenta uma proposta de DFC para pequenas bacias hidrográficas. A metodologia parte da definição de sete parâmetros: grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e a atual; grau de proteção fornecido ao solo pela cobertura vegetal atual; declividade média; erosividade da chuva; potencial erosivo dos solos; densidade de drenagem e o balanço hídrico.

Figura 4.1 - Fluxograma metodológico da pesquisa

Fonte: autor

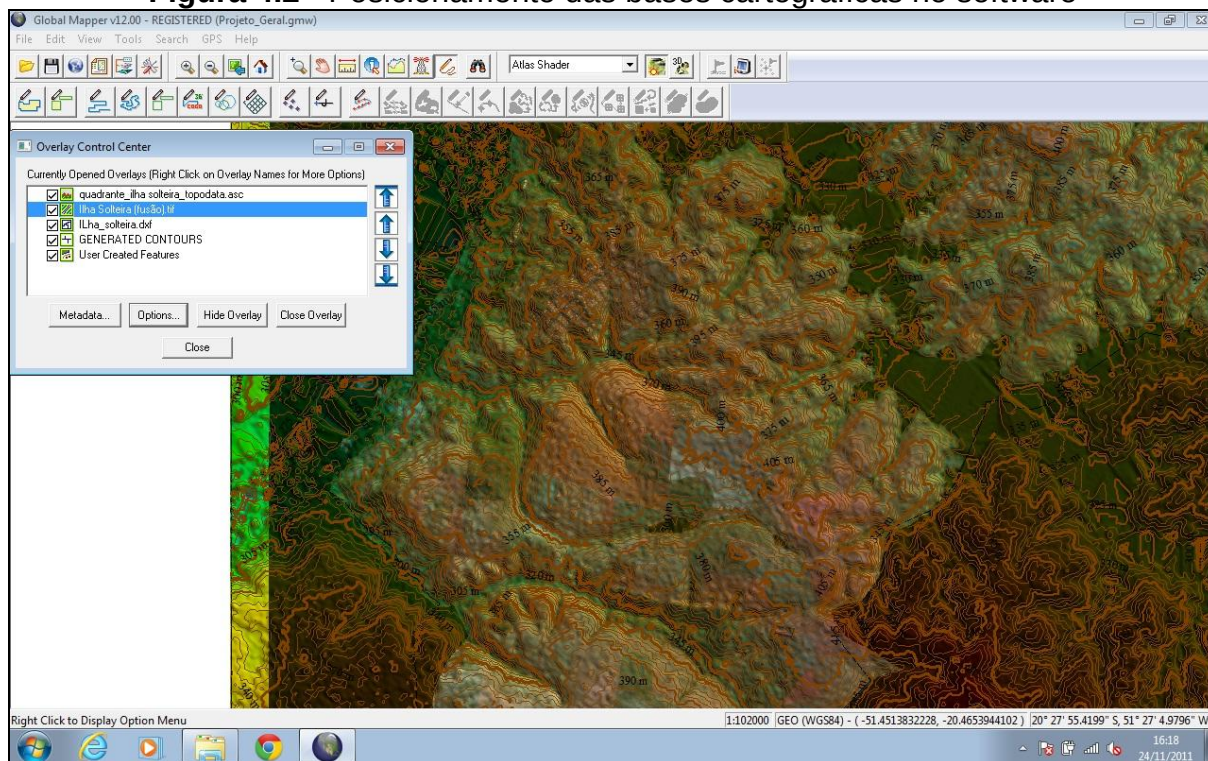
4.1 Procedimentos Metodológicos

4.1.1 Identificação das bacias hidrográficas

Para a extração dos limites das bacias hidrográficas utilizou-se os dados altimétricos TOPODATA (banco de dados geomorfométricos do Brasil) e da imagem de satélite CBERS 2008/2009 (Satélite Sino-brasileiro de recursos terrestres) fusionada com resolução 2,5 metros cedidas por Cézar (2011).

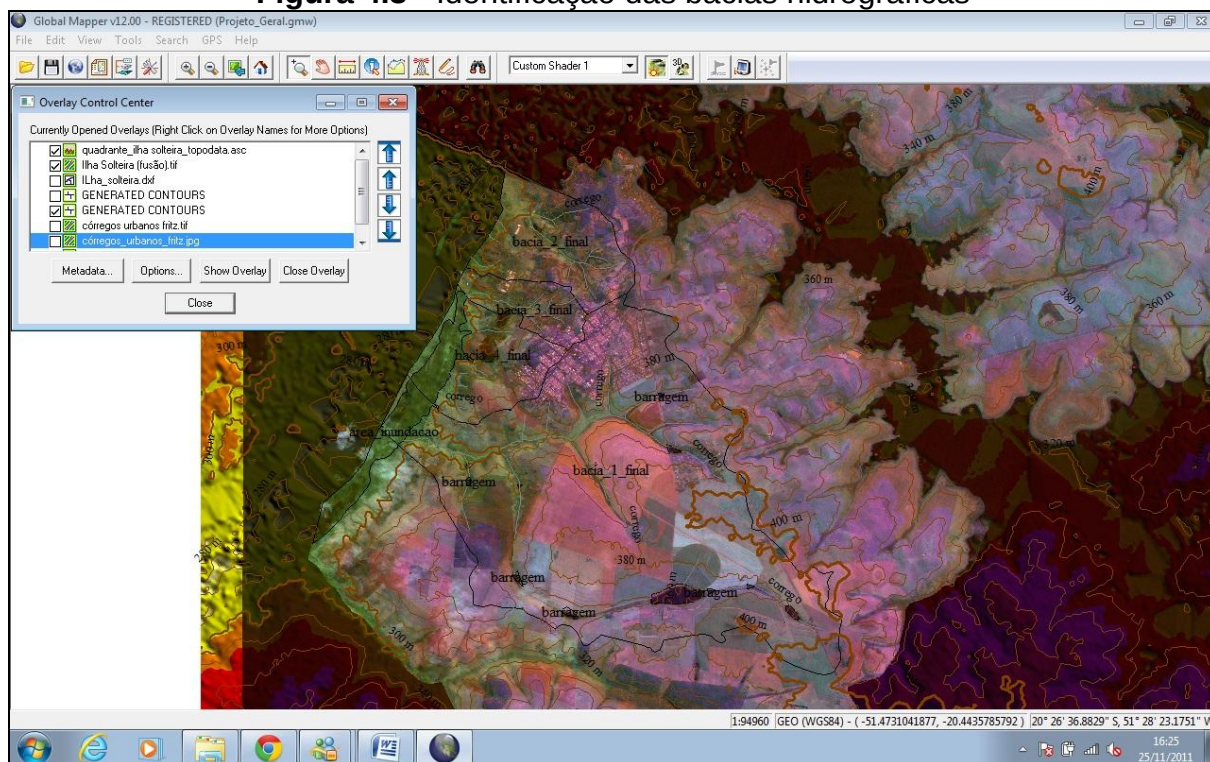
Em ambiente SIG (sistema de informação geográfica), através do software Global Mapper, por meio da TOPODATA gerou-se o fatiamento por meio de curvas de nível de 5 e de 20 metros, a hipsometria com distanciamento de 25 metros, e o sombreado do relevo. Por meio dessas feições físicas do relevo pode-se considerar as bacias hidrográficas. A imagem de satélite serviu como suporte para o ajuste dos traçados dos canais fluviais, bem como para considerar áreas onde as feições antrópicas afetassem a dinâmica natural das bacias hidrográficas (figuras 4.2 e 4.3).

Figura 4.2 - Posicionamento das bases cartográficas no software



Fonte: autor

Figura 4.3 - Identificação das bacias hidrográficas



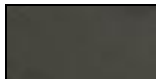
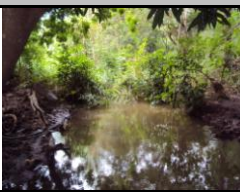
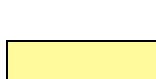
Fonte: autor

4.1.2 Confeção dos mapas de uso da terra

Os mapas de uso da terra foram geradas a partir de métodos de fotoanálise para a fotointerpretação, que consiste na técnica de examinar o objeto através da separação e distinção de suas partes componentes, tendo como objetivo principal identificar as várias unidades do terreno e delinear todas as áreas homogêneas que indicam diferenças nas condições do solo. Cada área homogênea é metodicamente analisada e comparada às outras (WESTPHALEN, 2009).

Os mapeamentos seguiram os padrões de interpretação e de cores propostas no quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Interpretações visuais para uso da terra

Uso da Terra	Cor Utilizada	Observações no SIG			Observações em Campo			
		Características Visuais		Descrição	Fotografia		Descrição de Campo	
		1978	2009					
Drenagem				Textura lisa e homogênea. 1978: Cor variando de cinza claro a cinza escuro. 2009: Cor variando entre verde musgo e preto.				Canais fluviais (rios e córregos).
Uso Urbano				textura homogênea e recorte geométrico. 1978: Cor variando entre branco a cinza médio. 2009: Cor variando entre rosa claro e rosa médio.				Aglomerado de construções residenciais e comerciais, vias pavimentadas ou não.
Mata				Textura rugosa. 1978: Cor cinza médio a escuro. 2009: Cor verde escuro.				Vegetação arbustiva de médio a grande porte.
Áreas Úmidas				Textura lisa, com cor e recorte irregular. 1978: Cores variando entre tons de cinza médio. 2009: Cores variando entre verde escuro e verde claro.				Terrenos baixos que sofrem influências do lençol freático. Presença de água e/ou solo encharcado.
Solo Exposto				Textura lisa e homogênea, com algumas variações de cores. 1978: Cores variando em uma escala de branco a cinza claro. 2009: Cores variando entre tons de rosa.				Solo nu, sem presença de vegetação, ou com poucas espécies vegetais.
Cultura Permanente				Textura rugosa e com recorte geométrico. 1978: Cores variando entre cinza claro (quando há solo exposto) e cinza escuro (vegetação). 2009: Cores variando entre verde escuro (vegetação), verde claro (pastagem) e rosa (solo exposto).				Plantações permanentes de longa duração. Em Ilha Solteira, as principais culturas permanentes para 2009 foram: laranja, tangerina, maracujá, banana, manga, limão, coco-da-baía, borracha, uva e palmito (IBGE, 2012).
Cultura Temporária		N.A.*		Textura lisa e recorte geométrica. 1978: não se aplica. 2009: tons variando entre tons de verde claro.				Plantações temporárias de curta duração (via de regra, menor que um ano). Em Ilha Solteira, as principais culturas temporárias para 2009 foram: cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e arroz, (IBGE, 2012).
Pastagem				Textura com pouca rugosidade e muita variação de tons. 1978: tons de cinza claro. 2009: Cores variando entre tons de verde claro a médio e rosa.				Vegetação tipo gramínea, com a presença de alguma vegetação arbórea e/ou arbustiva, que via de regra serve para criação de gados.
Estação de tratamento de esgoto (ETE)		N.A.*		Textura lisa, recorte geométrico e com variações de cores. 1978: não se aplica. 2009: cores variando entre preto e tons de verde musgo.				Lagoas de tratamento de esgoto.

N.A.*: Não se aplica.

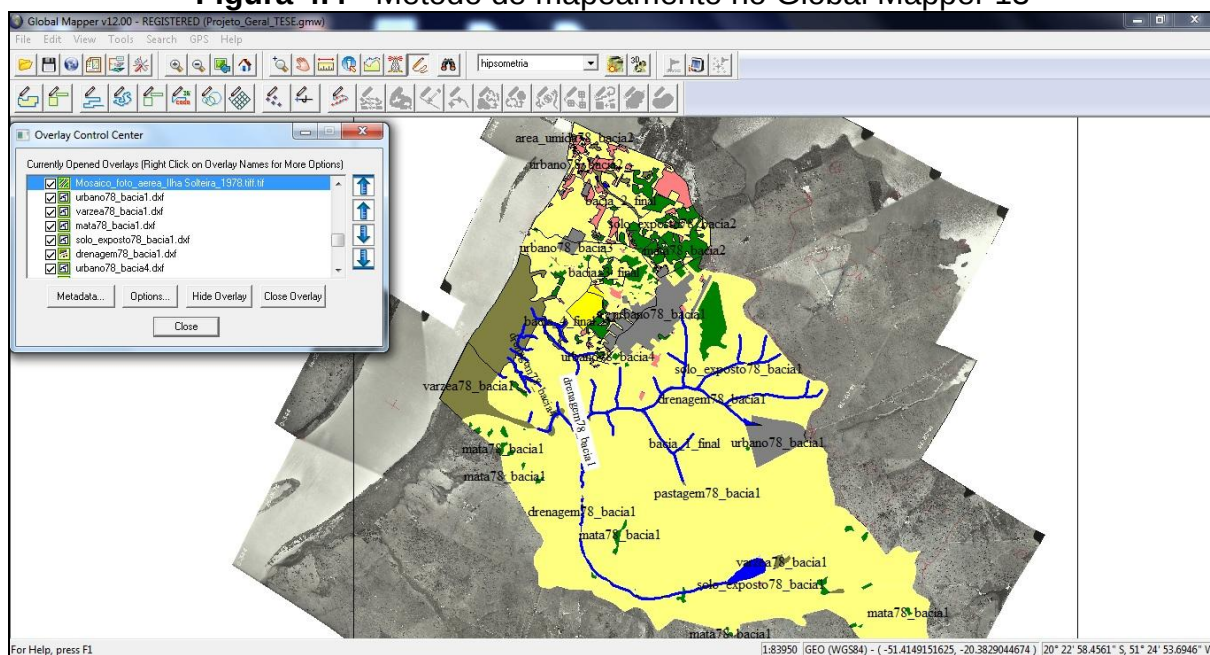
Fonte: autor

a. Uso do solo de 1978

A carta de uso do solo de 1978 foi gerada a partir de imagens aerofotogramétricas pancromáticas da cidade de Ilha Solteira, na escala 1:20.000, cedidas pelo laboratório de sensoriamento remoto da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira.

A coleção de fotos correspondente a área de pesquisa foi escaneada e salva em JPG. O mosaico foi formado com o auxílio do software Adobe Photoshop. O resultado obtido foi importado para o banco de dados do projeto no Global Mapper[®] 13 (figura 4.4). Procedeu-se o georreferenciamento do mosaico a partir de coordenadas geográficas cedidas por CÉZAR (2011).

Figura 4.4 - Método de mapeamento no Global Mapper 13



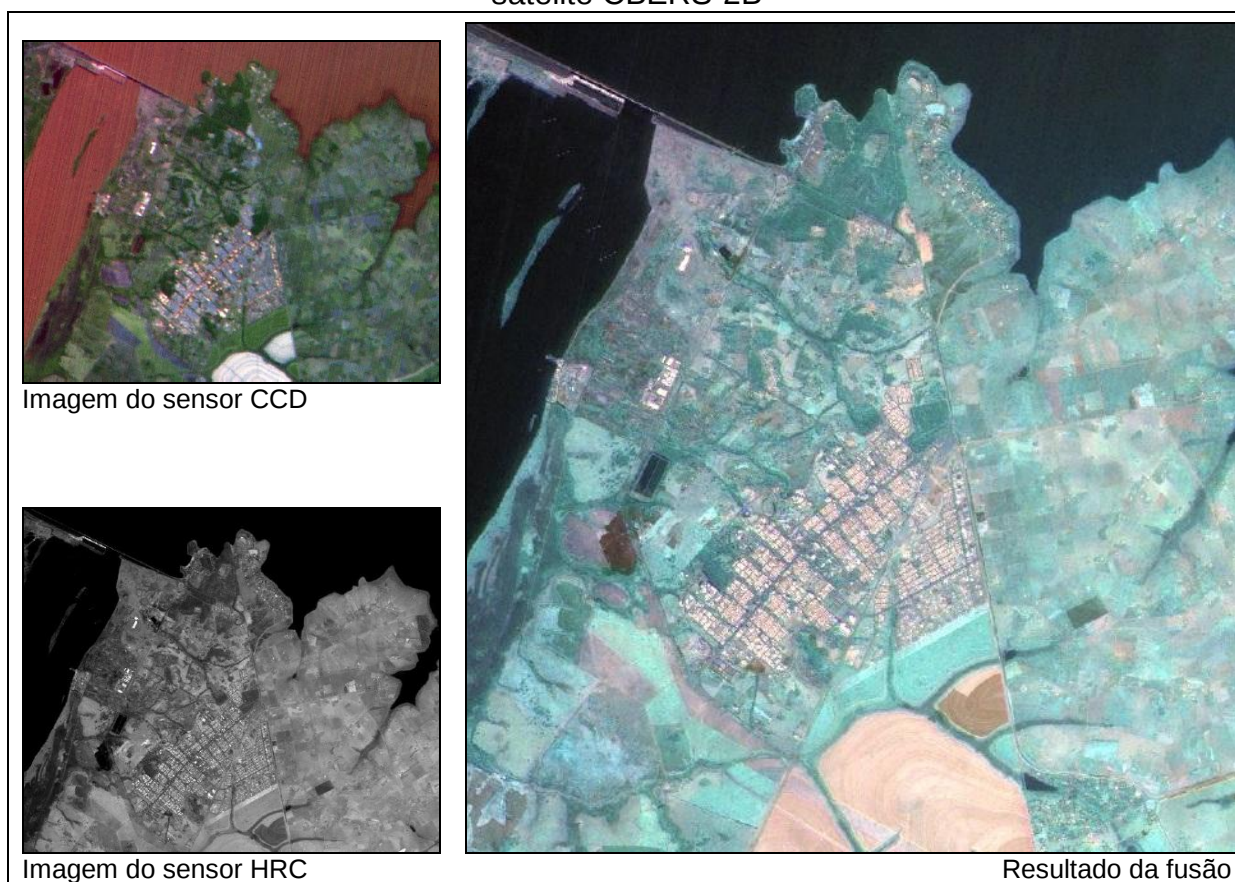
Fonte: autor

O mapeamento final foi realizado extraíndo os layers (polígonos e linhas) de acordo com os componentes presentes das fotografias de forma manual. Esses layers foram salvos em Drawing Exchange Format (*.dxf) em pastas separadas por bacias para posteriormente serem usados nos cruzamentos dos mapas.

b. Uso do solo de 2009

A carta de uso do solo do ano de 2009 foi gerada a partir de uma imagem CBERS do ano de 2009 fusionada com resolução espacial de 2,5 metros em GEOTIFF de todo o município de Ilha Solteira, cedida por CÉZAR (2011) (figura 4.5; tabela 4.1).

Figura 4.5 - Resultado da fusão de imagens do sensor CCD com sensor HRC do satélite CBERS-2B



Fonte: CÉZAR, 2011.

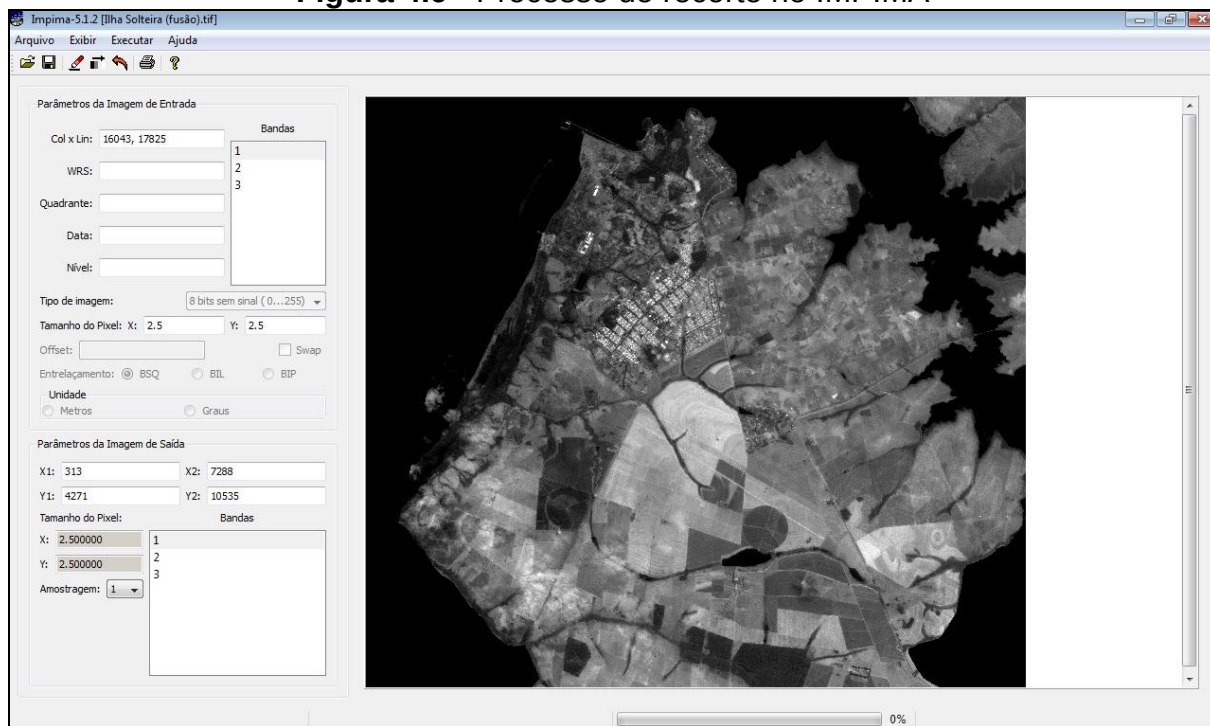
Tabela 4.1 - Dados das Imagens do CBERS2B utilizadas na Fusão
Imagens do satélite CBERS - 2B

Satélite	Instrumento	Órbita/Ponto	Data
CBERS 2B	CCD	159/123	2009-09-27
CBERS 2B	CCD	160/123	2009-08-26
CBERS 2B	HRC	159_A/123_2	2010-01-06
CBERS 2B	HRC	160_E/123_2	2008-09-08
CBERS 2B	HRC	160_E/123_3	2008-09-08
CBERS 2B	HRC	160_E/123_4	2008-04-05

Fonte: CÉZAR, 2011.

Realizou-se um recorte da imagem para um quadrante que abrangesse as quatro bacias em estudo no software IMPIMA 5.1.2.[®] do pacote SPRING 5.1.2.[®] (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006). Neste mesmo programa a imagem foi convertida de GEOTIFF para ASCII.SPG (figura 4.6).

Figura 4.6 - Processo de recorte no IMPIMA



Fonte: autor

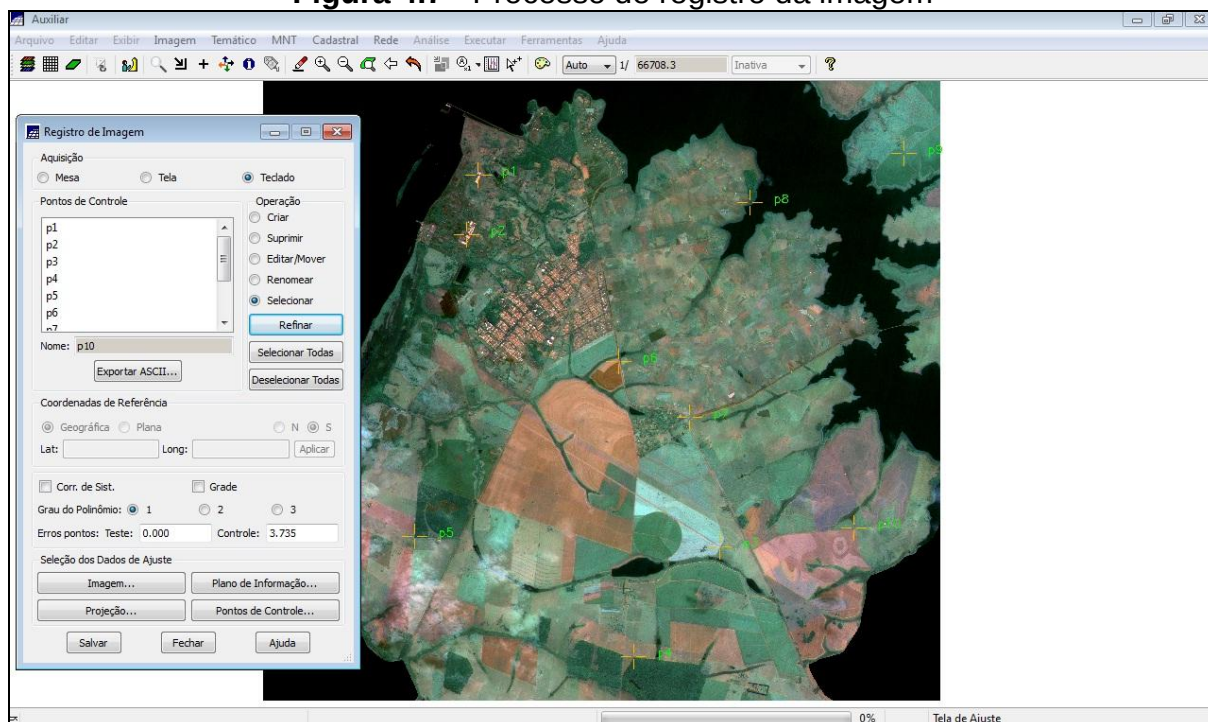
No software SPRING 5.1.2.[®] criou-se um banco de dados para o desenvolvimento das etapas propostas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2006) para registro e classificação de imagens:

- **Registro de Imagens:**

Registro é uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (aeronave ou satélite) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

O registro da imagem foi realizado via teclado, sendo que os pontos de controle foram coletados via GPS em campo (figura 4.7).

Figura 4.7 - Processo de registro da imagem



Fonte: autor

• **Classificação:**

Classificação é o processo de extração de informação de imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006). Realizaram-se três mapeamentos, por pixel, por segmentação supervisionada e por segmentação sem supervisão:

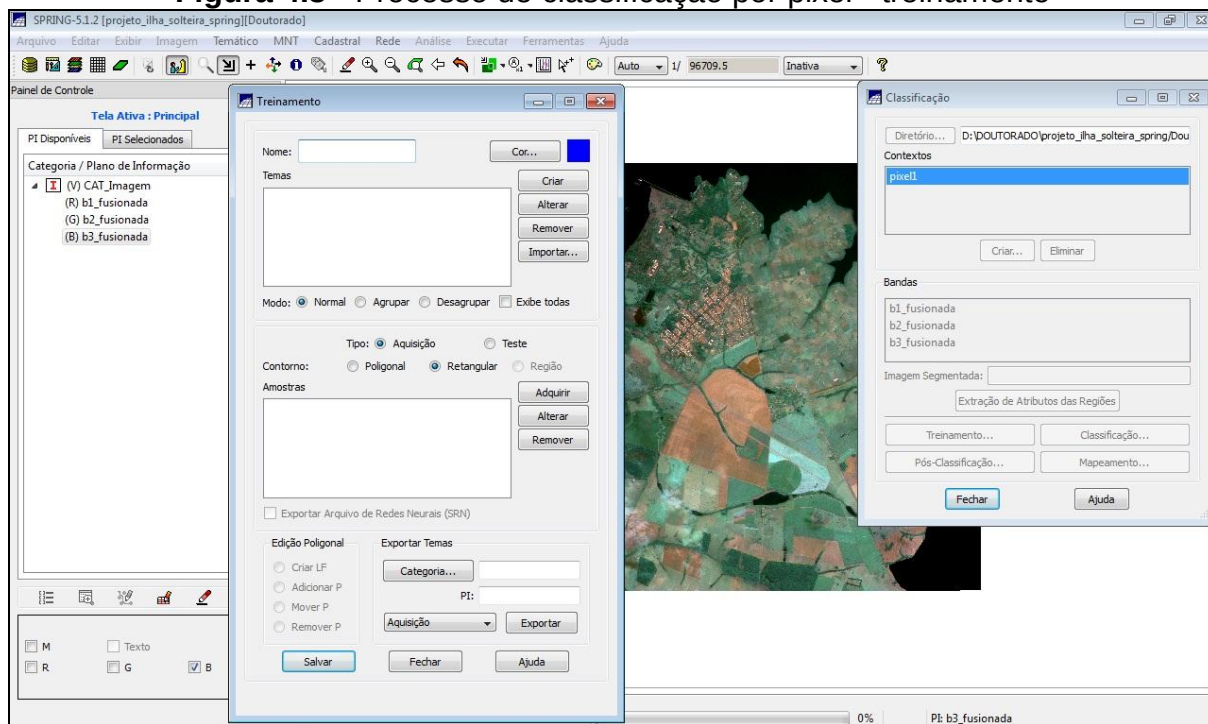
- Classificação por Pixel:

Os Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para achar regiões homogêneas. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos gráficos ou cores (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Para a classificação por pixel fez-se uso do classificador MAXVER com limiar de aceitação de 100% (figura 4.8 e 4.9), que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

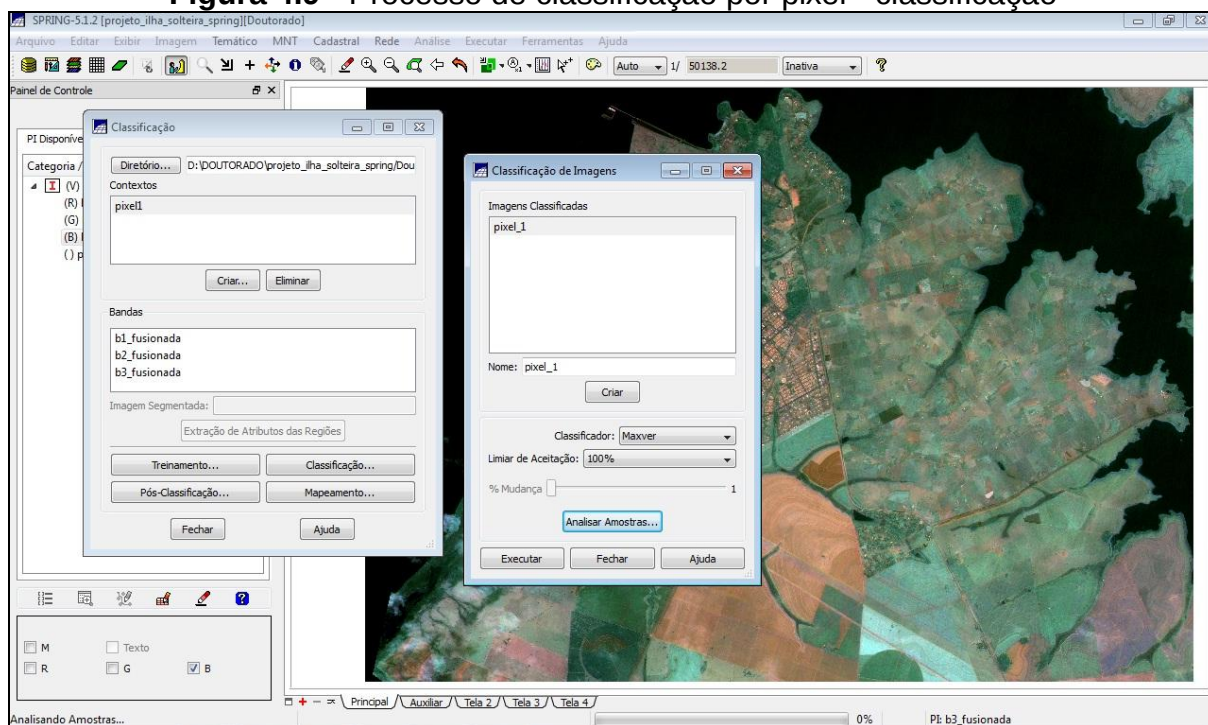
Procedeu-se por meio de aquisição de amostras de cada parâmetro observado na imagem e em campo.

Figura 4.8 - Processo de classificação por pixel - treinamento



Fonte: autor

Figura 4.9 - Processo de classificação por pixel - classificação



Fonte: autor

- Classificação por região:

Os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas das imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais das imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões e as propriedades espaciais e espectrais irão unir áreas com mesma textura (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006). Para a pesquisa efetuou-se a segmentação da imagem e a classificação por região com e sem supervisão.

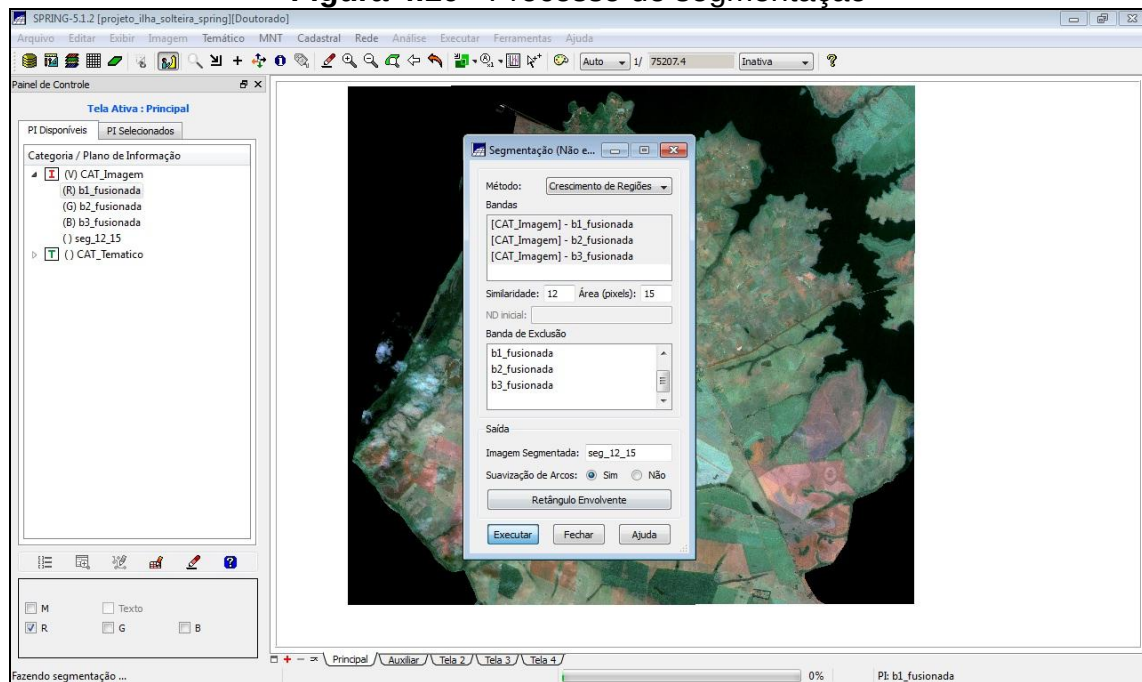
▪ *Segmentação:*

Neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Utilizou-se a técnica de crescimento de regiões, que consiste no agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006). Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta e calcula um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Realizou-se três segmentações distintas para se analisar a melhor resposta visual e de agrupamento: similaridade: 12, área (pixel): 15; similaridade: 20, área (pixel): 30; similaridade: 30, área (pixel): 45 (figura 4.10). O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Figura 4.10 - Processo de segmentação

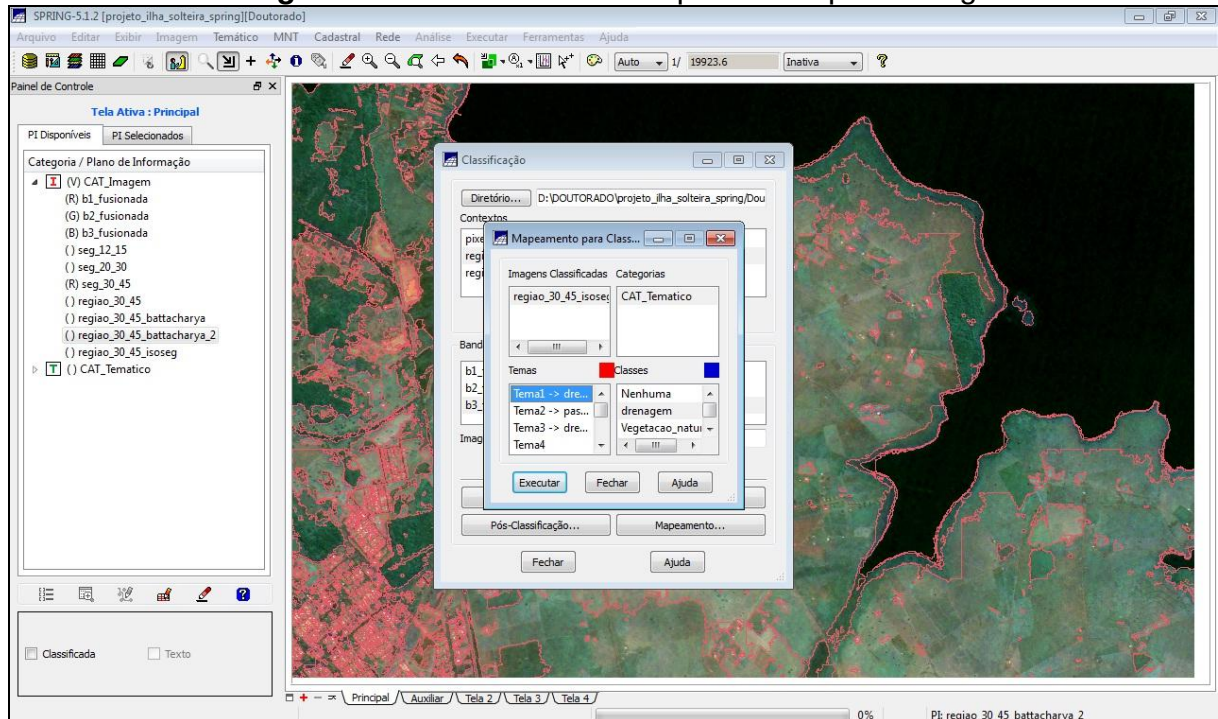


Fonte: autor

▪ *Classificação sem supervisão:*

Utilizou-se o classificador Isoseg, com a imagem segmentada com similaridade: 30, área (pixel): 45 e limiar de aceitação de 99%. O classificador Isoseg é o algoritmo disponível no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. Por meio do agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006) (figura 4.11).

Figura 4.11 - Processo de mapeamento por Isoseg

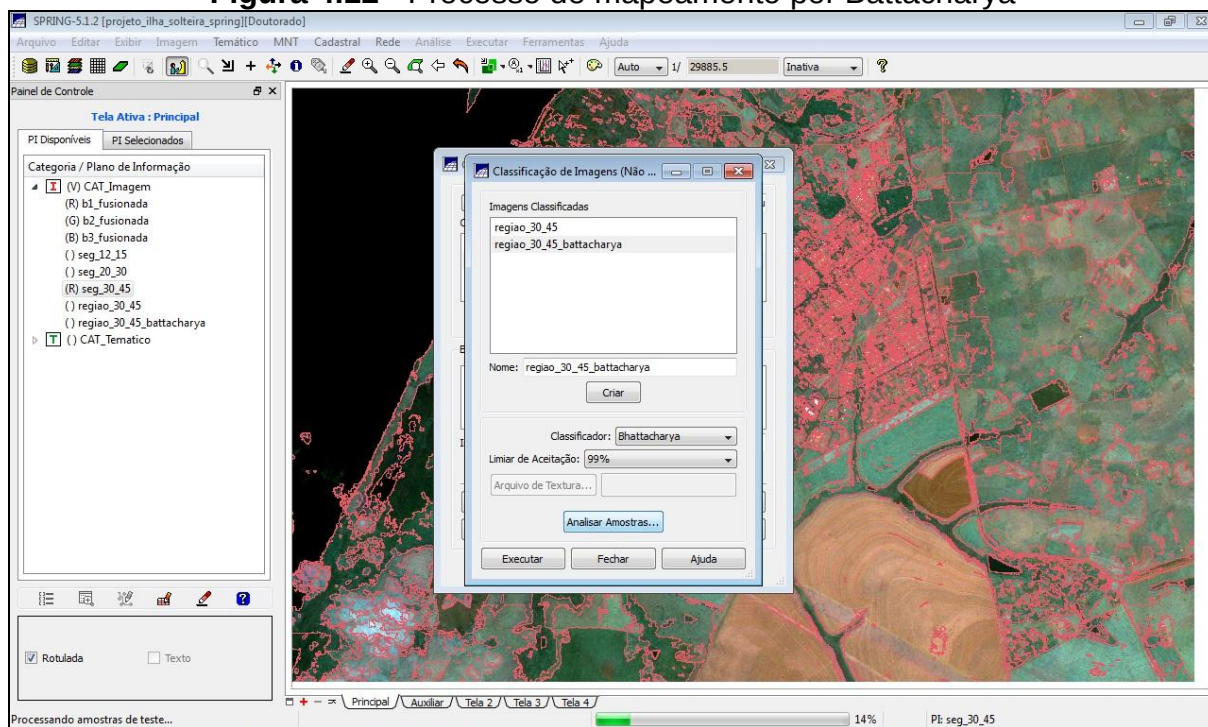


Fonte: autor

▪ *Classificação com supervisão:*

Nesta etapa utilizou-se o classificador Battacharya, com a imagem segmentada similaridade: 30, área (pixel): 45 e limiar de aceitação de 99% (figura 4.12). A medida da distância de Bhattacharya é usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. O classificador Bhattacharya, ao contrário do Isoseg que é automático, requer interação do usuário, através do treinamento. Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na Segmentação de imagens (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Figura 4.12 - Processo de mapeamento por Battacharya



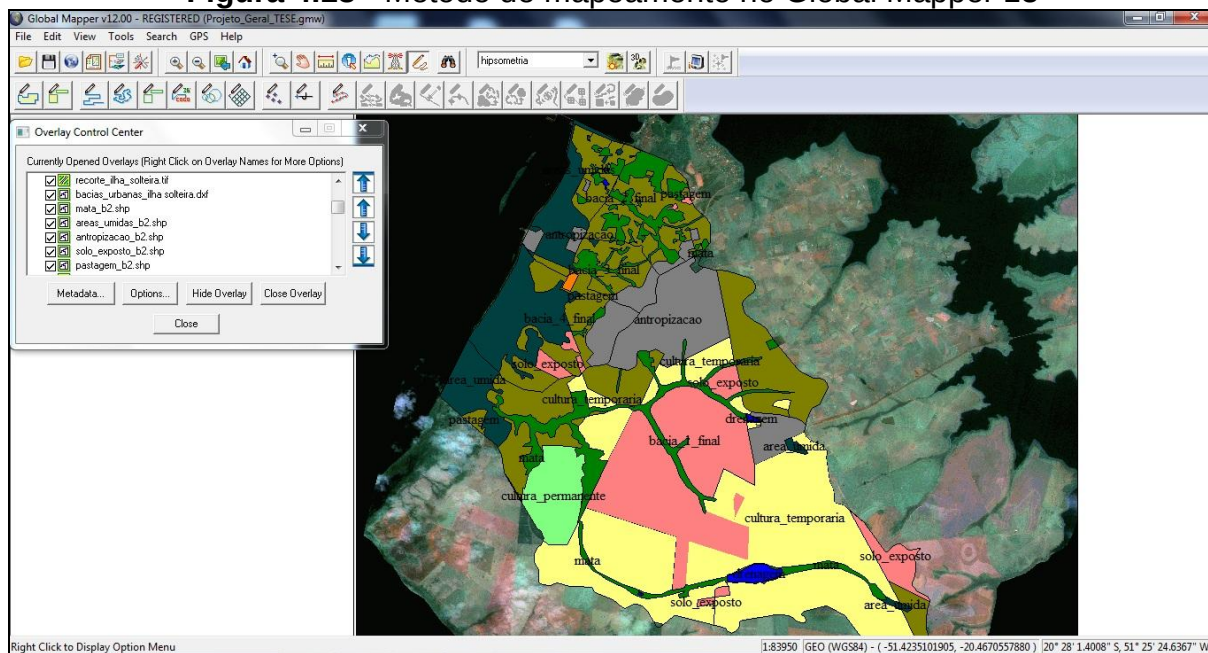
Fonte: autor

• Mapeamento final para 2009

Com os resultados obtidos, realizou-se uma comparação entre dados conflitantes dos três mapeamentos. Estes dados serviram de base para se estabelecer pontos amostrais de campo, e como auxílio de um GPS de navegação realizou-se trabalhos in loco para a averiguação de possíveis erros de mapeamento.

O mapeamento final foi gerado no software Global Mapper® manualmente com o uso de técnicas de fotoanálise e tendo como base os resultados obtidos no software SPRING (figura 4.13).

Figura 4.13 - Método de mapeamento no Global Mapper 13

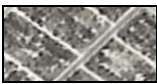
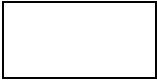


Fonte: autor

c. Uso do solo urbano

O mapa de uso do solo urbano em escala de detalhe foi realizado seguindo as etapas anteriormente citadas, manualmente no software Global Mapper®. Neste contexto, criou-se uma tabela-legenda para a interpretação visual dos diferentes usos do solo (quadro 4.2).

Quadro 4.2 - Interpretações visuais para uso da terra urbano

Uso da Terra	Cor Utilizada	Características Visuais		Descrição
		1978	2009	
Densamente ocupado				Textura rugosa, com variações geométricas. Área com quarteirões definidos e ocupados por residências entre 80 a 100%. Pouca área vaga.
Parcialmente ocupado				Textura rugosa, com variações geométricas e alguns espaços vazios. Área com quarteirões definidos, mas com ocupação mais afastadas umas das outras. Alguns lotes vagos com solo exposto ou pastagem.
Em processo de ocupação				Textura lisa, com alguns pontos rugosos e cortes geométricos. Loteamento definido, mas com pouca ou nenhuma ocupação. Presença de pastagem e solo exposto.
Áreas verdes				Textura rugosa. Áreas com vegetação densa. Parques, áreas de proteção (mata ciliar)
Áreas vagas				Textura rugosa, com recortes geométricos e grande variações de cores. Áreas de circulação (canteiro, praças, largas avenidas). Misto entre áreas impermeáveis e permeáveis.
Áreas não urbanizadas				Textura lisa e uniforme. Áreas dentro do recorte urbano, mas ainda não ocupada. O uso varia entre pastagens (em sua maioria) e solo exposto.

Fonte: autor

4.1.3 Levantamento da fragilidade ambiental nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP para os anos de 1978 e 2009

Este modelo visa elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, a partir de um banco de dados contendo as informações básicas do meio físico e de uso da terra de uma determinada região (geologia, geomorfologia, pedologia, de cobertura vegetal e uso da terra). O grau de vulnerabilidade é baseado nos

processos de morfogênese e pedogênese, e expresso pela atribuição de valores (de 1 a 3, num total de 21 valores) para cada unidade de paisagem (CREPANI et al, 2001).

Para a atribuição de valores na escala de vulnerabilidade procura-se destacar, em cada um dos temas, os parâmetros que se apresentam como indicadores de categoria morfodinâmica (como a espessura e maturidade do solo), ou aqueles capazes de influir decisivamente no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos (como o grau de coesão das rochas, a densidade de cobertura vegetal, os índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica) (CREPANI et al, 2001).

Critérios para atribuição de valores na escala de vulnerabilidade para cada tema:

a. Parâmetro Geologia:

O parâmetro geologia (G) é estabelecido em função da resistência das rochas à denudação, ou seja, resistência aos processos de erosão e intemperismo com relação ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,7	Folhelhos	2,4
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,1	Grauvacas, Arcózios	1,8	Andesito, Diorito, Basalto	2,5
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	1,2	Migmatitos, Gnaisses	1,9	Ardósia, Metargilito	2,6
Riólito, Granito, Dacito	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,7
Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,4	Siltitos, Argilitos	2,1	Anortosito, Gabro, Peridotito	2,8
Conglomerados, Subgrauvacas	1,5	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	2,2	Mármore	2,9
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,6	Filito, Metassiltito	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: CREPANI et al, 2001.

O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese) (CREPANI et al, 2001).

A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem (CREPANI et al, 2001. p. 32).

b. Parâmetro Geomorfologia

Para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem natural com relação à geomorfologia (R), são analisados os índices morfométricos correspondente a declividade (adaptado de CREPANI et al, 2001).

A declividade entre dois pontos do terreno é medida pela inclinação da reta que os une em relação ao plano horizontal e ela pode ser obtida, em termos de porcentagem, diretamente sobre as cartas topográficas pela relação entre a distância vertical e a distância horizontal entre os dois pontos ($\text{tangente} = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$) [...] (CREPANI et al, 2001. p. 76)

Os valores próximos de 1,0 da escala de vulnerabilidade estão associados a pequenos ângulos de inclinação das encostas, situação em que prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese e os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde prevalecem os processos erosivos da morfogênese (tabela 4.3) (CREPANI et al, 2001).

Tabela 4.3 - Classes de declividade com escalas de vulnerabilidade

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: CREPANI et al, 2001.

c. Parâmetro Pedologia

O parâmetro pedologia (S) é determinado pela estabilidade do solo em relação a erodibilidade. A causa fundamental da erosão hídrica, seja ela laminar, em sulcos ou ravinas é a ação da chuva sobre o solo (CREPANI et al, 2001). A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo. O termo erodibilidade se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão.

Nas unidades de paisagem natural consideradas estáveis o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 1 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos, que são solos bem desenvolvidos, velhos ou maduros, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados os solos cujos materiais são os mais decompostos (CREPANI et al, 2001).

Já nas unidades de paisagem natural consideradas intermediárias o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos, que apresentam profundidade menor que os Latossolos, menos estáveis e menos intemperizados (CREPANI et al, 2001).

Crepani et (2001) considera que nas unidades de paisagem natural consideradas vulneráveis ocorrem solos aos quais é atribuído o valor 3, e estes solos são jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo (tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Valores de Vulnerabilidade dos Solos

Classificação de solos (EMBRAPA, 1999)	Índices de Vulnerabilidade
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Argissolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvisolos Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos Neossolos Regolíticos Neossolos Quartzarênicos Vertissolos Organossolos Gleissolos Gleissolos Plintossolos Gleissolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Plintossolos Afloramento Rochoso	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI et al, 2001.

d. Parâmetro Vegetação

Crepani et al (2001) considera a densidade de cobertura vegetal como parâmetro para o tema vegetação (V), que pode ser obtida por meio de documentações existentes e pela interpretação das imagens de satélite.

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão [...] (CREPANI et al, 2001. p. 88)

Sendo assim, para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0). Adaptou-se para este parâmetro a utilização do mapa de uso do solo (produto da pesquisa) e os valores apresentados por Santos (2009) (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Valores de Vulnerabilidade da Vegetação*

Uso do Solo	Características	Peso
Mata	Cobertura vegetal estável	1,0
Pastagens	Cobertura vegetal vulnerável	2,5
Cultura Permanente	Cobertura vegetal vulnerável	2,7
Cultura Temporária	Cobertura vegetal vulnerável	2,8
Solo Exposto	Cobertura vegetal extremamente vulnerável	3,0
Área urbanizada	Cobertura vegetal extremamente vulnerável	3,0

*Vegetação encontrada na área de estudo

Fonte: Adaptado de CREPANI et al (2001) e SANTOS (2009).

e. Parâmetro Clima

O parâmetro clima (C) é determinado pela intensidade pluviométrica e seu poder erosivo. A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, e mais tarde sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica, pois o impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva são os agentes ativos da erosão hídrica, o solo é o agente passivo (CREPANI et al, 2001).

O clima controla o intemperismo diretamente, através da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região, e também indiretamente através dos tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem (CREPANI et al, 2001. p. 94).

Portanto, o processo erosivo é resultante do poder da chuva em causar erosão (erosividade) e da capacidade do solo em resistir à erosão (erodibilidade)

(CREPANI et al, 2001). O autor utiliza uma escala de erosividade (Tabela 4.6) levando em consideração a distribuição linear dos valores contidos entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica para as diversas regiões do país.

Tabela 4.6 - Distribuição da vulnerabilidade entre os intervalos possíveis de intensidade pluviométrica

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

1. Intensidade Pluviométrica

2. Vulnerabilidade

Fonte: CREPANI et al (2001).

4.1.3 DFC - Levantamento do diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP

a. Procedimentos para a setorização da bacia

A primeira etapa para a aplicação da metodologia do DFC é a setorização da bacia. Para isto, Beltrame (1994) utilizou-se dos dados de hipsometria, declividade e padrão de drenagem. Adaptou-se a metodologia de Beltrame (1994) considerando-se os dados de declividade e hipsometria.

b. Parâmetro cobertura vegetal original

Definiu-se como cobertura original (CO) da bacia os dados obtidos de vegetação natural para o ano de 1978. Posteriormente, sobrepos-se a esta informação o mapa de vegetação natural do ano de 2009, e assim foi estabelecido o índice CO com base no grau de semelhança para cada setor (tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Classificação quanto ao grau de semelhança para o parâmetro CO

Grau de Semelhança (%)	Índice	Níveis
81-100	CO ₁	Altamente semelhante
61-80	CO ₂	Semelhante
41-60	CO ₃	Medianamente semelhante
21-40	CO ₄	Baixa semelhança
01-20	CO ₅	Nenhuma semelhança

Fonte: BELTRAME, 1994.

c. Parâmetro proteção da cobertura vegetal atual

Para a definição deste parâmetro (CA) utilizou-se a carta de uso do solo de 2009. Com os cálculos de porcentagem de cada classe escolhida, determinou-se o grau de proteção de cada setor da bacia (tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Classificação quanto ao tipo de cobertura e o grau de proteção fornecida ao solo para o parâmetro CA

Tipo de Cobertura	Índice de Proteção	Uso do Solo (2009)	Índice de Proteção Proposto
Vegetação Lenhosa (mata; capoeira)	1 a 0,7	Vegetação Natural	1
Vegetação Herbácea (campo sujo; campo limpo)	0,6 a 0,5	Pastagem	0,5
Agricultura	0,4	Agricultura Cana de açúcar	0,4
Áreas urbanas*	0,2	Área urbana Solo Exposto	0,2

* adaptado de CHUEH, 2004.

Fonte: BELTRAME, 1994.

d. Parâmetro declividade média

O parâmetro declividade média (DM) foi obtido com o uso dos dados de elevação da TOPODATA (INPE) e do software ArcGIS . Adotou-se os intervalos de declividade propostos por Beltrame (1994) (tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Classes de declividade - parâmetro DM

Declividade	Relevo	Índice Proposto
Até 8%	Suave ondulado	DM ₁
9 a 20%	Ondulado	DM ₂
21 a 45%	Forte ondulado	DM ₃
Acima de 45%	Montanhoso a escarpado	DM ₄

Fonte: BELTRAME, 1994.

e. Parâmetro erosividade da chuva

Avaliou-se o potencial erosivo da chuva (E) a partir da equação:

$$E = 6,886 (r^2/P)^{0,85}$$

Onde:

E = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h)

r = precipitação média mensal (em mm)

P = precipitação média anual (em mm)

Posteriormente analisou-se em qual classificação o índice erosivo se enquadrava (tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Classificação do índice de erosividade - parâmetro E

Índice (t/ha.mm/h)	Qualificação	Índice Proposto
< 599,04	Erosividade débil	E ₁
599,04 a 675,48	Erosividade média	E ₂
675,49 a 751,91	Erosividade forte	E ₃
751,92 a 828,33	Erosividade muito forte	E ₄
> 828,33	Erosividade excessiva	E ₅

Fonte: BELTRAME, 1994.

4.1.4 Levantamento e obtenção dos mapas bases

- **Confecção do mapa de declividade**

O mapa de declividade foi gerado a partir de dados de elevação do terreno (TOPODATA, 2008), por processo de modelagem topográfica no software ENVI, com o uso da ferramenta slope shader.

As classes de fatiamento foram estabelecidas de acordo com a proposta da EMBRAPA (1997): 0 a 3% (Plano), 3 a 8% (Suave ondulado), 8 a 13% (Moderadamente ondulado), 13 a 20% (Ondulado), 20 a 45% (Forte Ondulado) e maior que 45% (Montanhoso).

- **Confecção do mapa de geologia**

Os dados georeferenciados de geologia em shape (shp.) foram fornecidos pela secretaria de meio ambiente do estado de São Paulo, seção Araçatuba (SEMA - Araçatuba), e fazem parte da carta geológica do estado de São Paulo, do serviço geológico do Brasil (CPRM).

A base foi inserida no projeto geral no software Global Mapper 12 e procedeu-se a extração dos layers da litologia por bacia de estudo. Os dados finais foram salvos em ".dxf" em uma pasta individual para posteriormente serem utilizados no cruzamento de dados em outros programas.

- **Confecção do mapa de pedologia**

Os dados georeferenciados de pedologia em shape (shp.) foram fornecidos pela secretaria de meio ambiente do estado de São Paulo, seção Araçatuba (SEMA - Araçatuba), e fazem parte da carta pedológica do estado de São Paulo, do Instituto Agrônomo de Campinas.

A base foi inserida no projeto geral no software Global Mapper 12 e procedeu-se a extração dos layers das associações pedológicas por bacia de estudo. Os dados finais foram salvos em ".dxf" em uma pasta individual para posteriormente serem utilizados no cruzamento de dados em outros programas.

- **Obtenção dos dados de climatologia**

Os dados de clima foram obtidos na plataforma on-line do departamento de fitossanidade, engenharia rural e solos na área de hidráulica da UNESP de Ilha Solteira (<http://clima.feis.unesp.br/>).

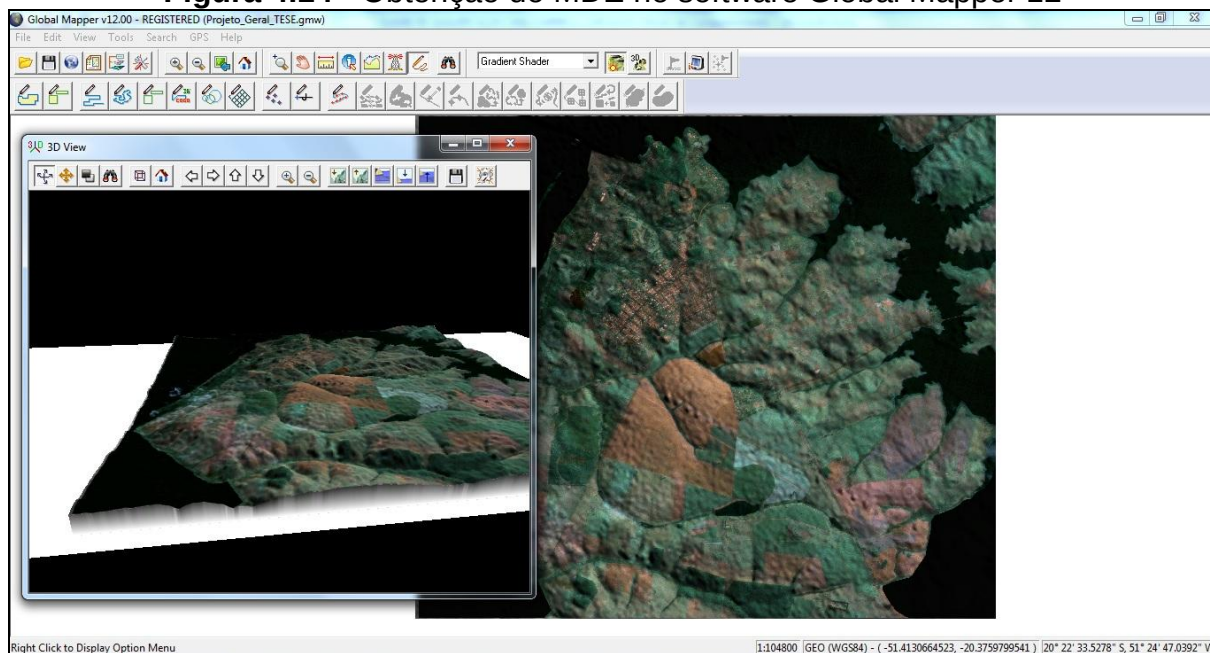
Obteve-se nesta plataforma a série histórica de 10 anos (1998-2008) para o município de Ilha Solteira os, que abrangeu os valores mínimos, máximos e médios mensais de temperatura (°C), precipitação (mm) e outros dados.

Os dados foram tabulados (em anexo) e trabalhados estatisticamente em gráficos no software Excel 2007.

- **Obtenção do modelo tridimensional de elevação do relevo**

O MDE (modelo digital de elevação) fornece o modelo tridimensional do relevo, ou seja, por meio dele é possível ter uma noção visual mais aprimorada das características do relevo. O produto foi gerado com o uso da ferramenta 3D View, a partir da sobreposição de dados de elevação (TOPODATA, 2008) e da imagem do CBERS (2009) no software Global Mapper 12 (figura 4.14).

Figura 4.14 - Obtenção do MDE no software Global Mapper 12



Fonte: autor

- **Obtenção dos perfis topográficos**

Os perfis topográficos foram gerados a partir de dados topográficos (TOPODATA, 2008) no software Global Mapper 12 através da ferramenta "3D Path Profile". Os perfis foram salvos individualmente na extensão BMP e trabalhados em Corel Draw 13, procurando organizá-los na mesma escala. Foram gerados oito perfis, dois por bacia, um longitudinal e outro latitudinal.

4.1.5 Elaboração do mapa síntese: Áreas de interesse para a gestão pública das bacias hidrográficas da cidade de Ilha Solteira – SP

O mapa síntese foi gerado a partir do cruzamento de atributos (tabela 4.11) propostos por Crepani et al (2001) e Beltrame (1994), e pautado na proposta de Tricart (1977), no ArcGIS, através da função raster calculation, disponível em Spatial analyst tools no Arctoolbox, através da fórmula:

$$\text{DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO} = \frac{(G + D + S + UT + GS)}{5}$$

Onde:

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

D = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

UT = vulnerabilidade para o tema Uso da Terra

GS = vulnerabilidade para o tema Grau de Semelhança

Tabela 4.11 - Comparativo Metodológico: Atributos e pesos

	CREPANI	BELTRAME	CARVALHO
GEOLOGIA			
Depósitos Aluvionares	3	Não se aplica	1
Santo Anastácio	1		2
Serra Geral	2		3
PEDOLOGIA			
Argissolo	2	4	3
Latossolo	1	3	2
USO DA TERRA			
Urbano	3	7	2,5
Pastagem	1,9	4	2
Mata	1,0	1	1
Cultura Temporária	2,8	5	2
Cultura Permanente	2,7	3	1,5
Solo exposto	2,9	7	3
Área Úmida	2,0	4	2,5
DECLIVIDADE			
<2	1	1	1
2-6	1,5	1	1
6-20	2,0	2	1,5
20-50	2,5	3	2
>50	3,0	4	3
GRAU DE SEMELHANÇA (por setores)			
81-100%	Não se aplica	1	1
61-80%		2	1,5
41-60%		3	2
21-40%		4	2,5
1-20%		5	3

Fonte: Crepani et al (2001); Beltrame (1994).

Para a escolha dos pesos considerou-se os processos de pedogênese e morfogênese. Meios estáveis são onde prevalecem a pedogênese, ou seja, a formação dos solos. Para estes os valores atribuídos estão próximos a 1. São meios com aspectos naturais estáveis, dissecação moderada e cobertura vegetal fechada.

Nos meios instáveis prevalece a morfogênese, ou seja, as mudanças relacionadas ao relevo. Para estes os valores atribuídos estão mais próximos ao 3. São meios onde as características naturais são mais instáveis, passíveis a modificações. Nestes estão presentes as deformações tectônicas, grandes modificações na cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.

Os resultados foram classificados de acordo com a proposta de classificação e legenda (tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Classificação - Diagnóstico do Meio Físico

CLASSIFICAÇÃO	VALORES	COR	DESCRIÇÃO
estável	0 a 1		Tem uma lenta evolução resultante da permanência no tempo de combinações de fatores. Encontram-se em regiões morfodinamicamente estáveis, com cobertura vegetal fechada, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas.
quase estável	1,1 a 1,5		
média	1, 4 a 2		São meios de transição entre os meios estáveis e os meios instáveis. Possui uma interferência permanente de morfogênese e pedogênese no mesmo espaço que variam em função de dois critérios, qualitativo e quantitativo. Qualitativo quando os processos morfogênicos afetam unicamente a superfície do solo e não alteram os horizontes do perfil, afetando diretamente a cobertura vegetal. O ponto de vista quantitativo está relacionado ao balanço pedogênese/morfogênese e aos movimentos de massa que afetam o solo em toda a sua espessura e causam diferenciação do solo em todos os seus horizontes.
quase instável	2,1 a 2,5		Nesses meios a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão subordinados: Deformações tectônicas, cobertura vegetal, oscilações climáticas e degradações antrópicas.
instável	2,6 a 3		

Baseado em Tricart (1977)

5 RESULTADOS

5.1 Levantamento dos aspectos físicos das bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP

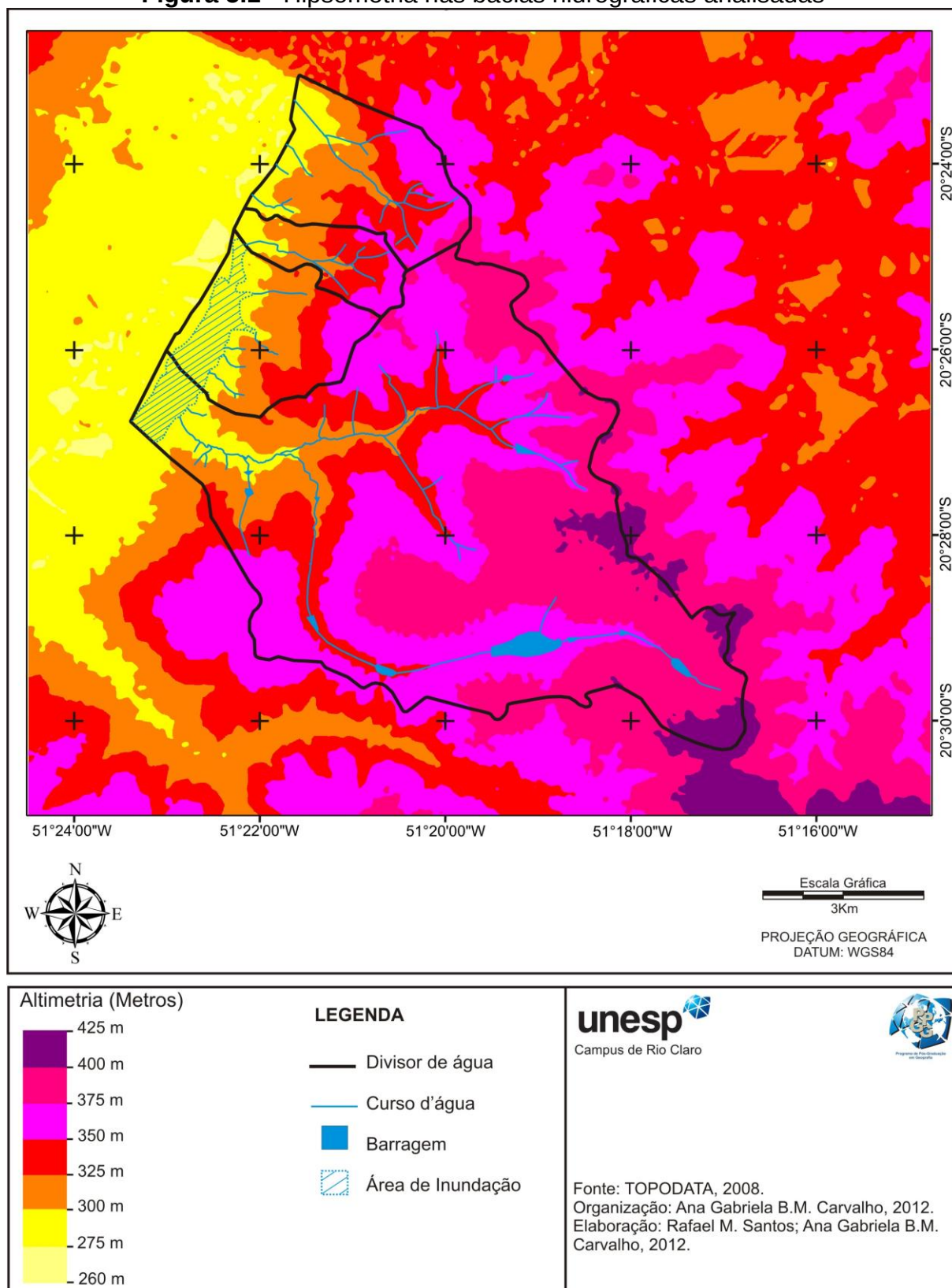
5.1.1 Características do Relevo

As características do relevo exercem influência na quantidade efetiva de infiltração de água da chuva e na velocidade do escoamento superficial, o que afeta diretamente os processos erosivos.

Na área de estudo a altimetria variou entre 260 e 425 metros, com um desnível entre as cotas mais altas, localizadas a sudeste (SE) da bacia das Lagoas, de 165 metros (figura 5.1).

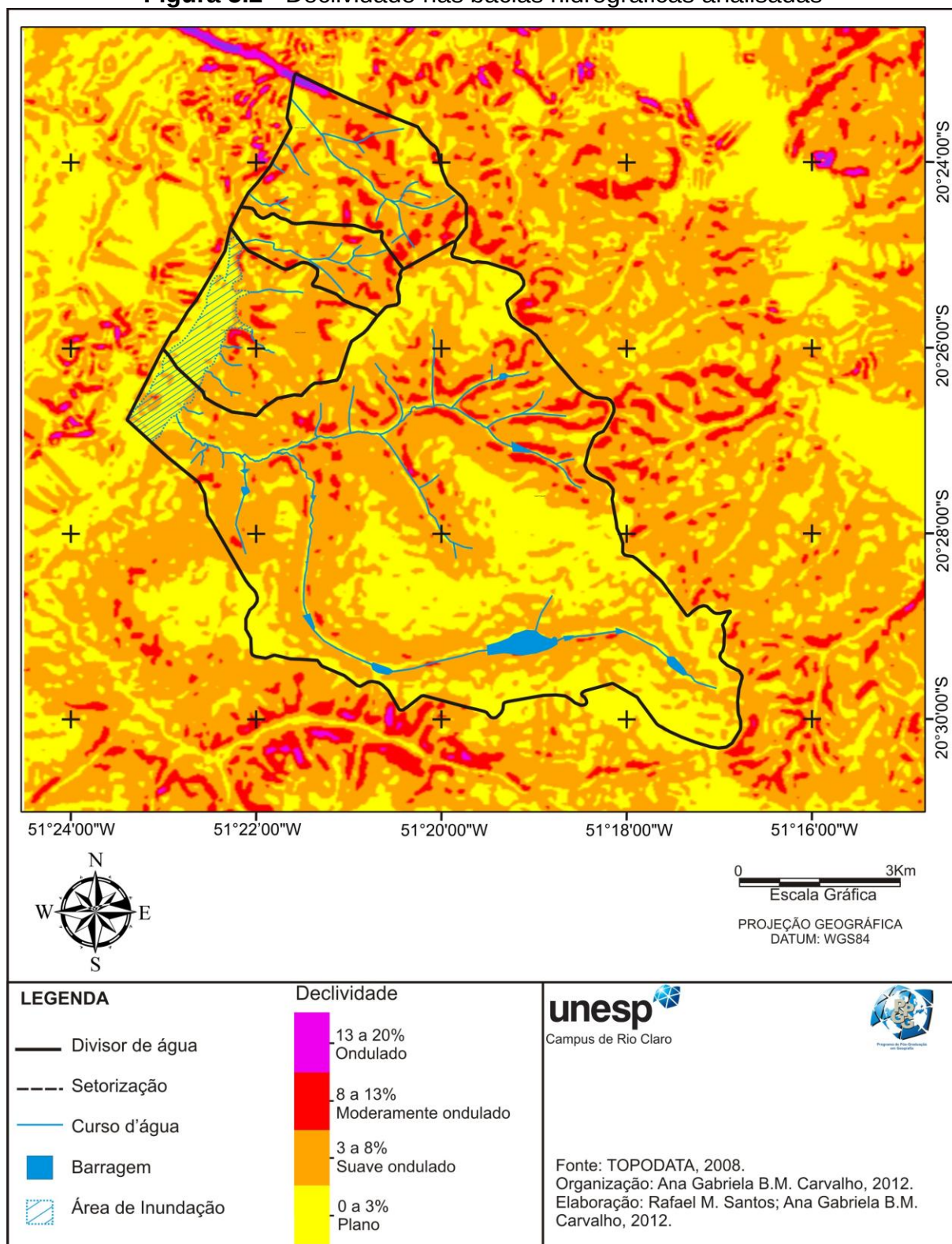
A declividade predominante do terreno variou entre 0 a 3% (terreno plano) a 3 a 8% (suave ondulado), porém com presença de declividade entre 8 a 13% (moderadamente ondulado) e poucas machas de 13 a 20% (ondulado) principalmente as margens das drenagens (figura 5.2).

Figura 5.1 - Hipsometria nas bacias hidrográficas analisadas



Fonte: autor

Figura 5.2 - Declividade nas bacias hidrográficas analisadas

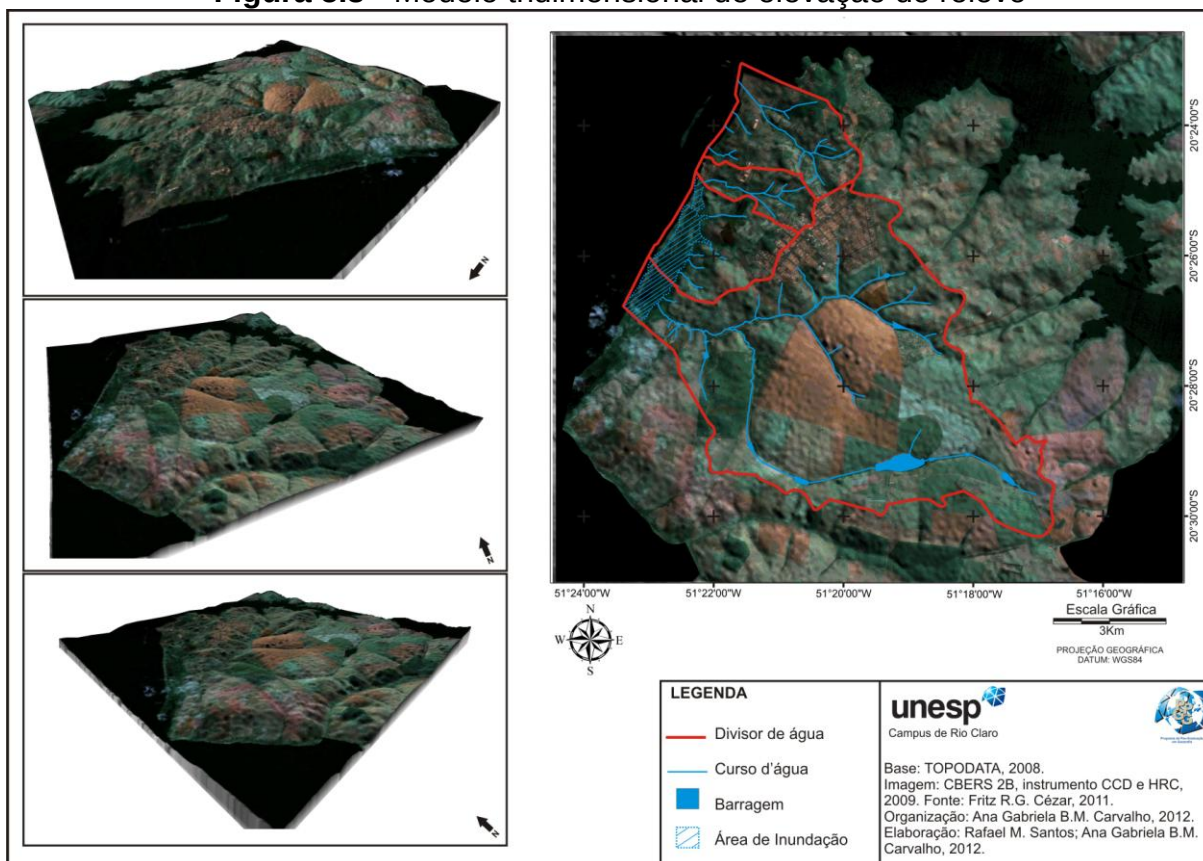


Fonte: autor

A partir do modelo tridimensional de elevação do relevo (figura 5.3) é possível ter uma noção visual das características do relevo da área de estudo, pois contempla os eixos X, Y e Z de um terreno. Observa-se assim que o terreno possui ondulações, caracterizando-o como suave ondulado.

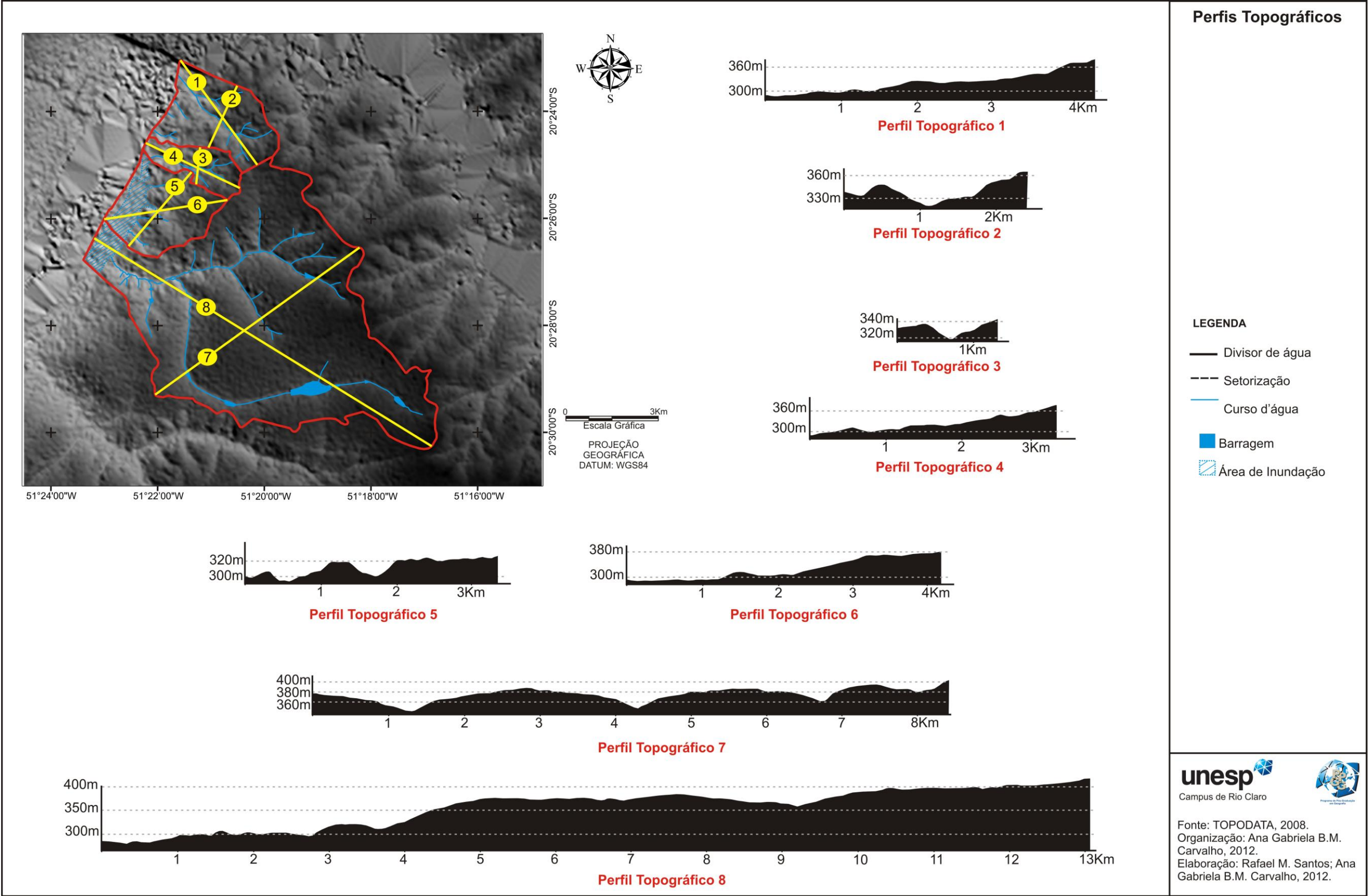
Os perfis topográficos (figura 5.4) possibilitam a interpretação de segmentos do relevo previamente delimitados os quais, consideram os dados de distância versus altimetria de um dado ponto do relevo. Foram traçados dois perfis por bacia hidrográfica de interesse, um no sentido nascente-foz e outro no sentido latitudinal. Percebeu-se assim pouca amplitude altimétrica entre o início e o fim do perfil traçado.

Figura 5.3 - Modelo tridimensional de elevação do relevo



Fonte: autor

Figura 5.4 - Perfis Topográficos



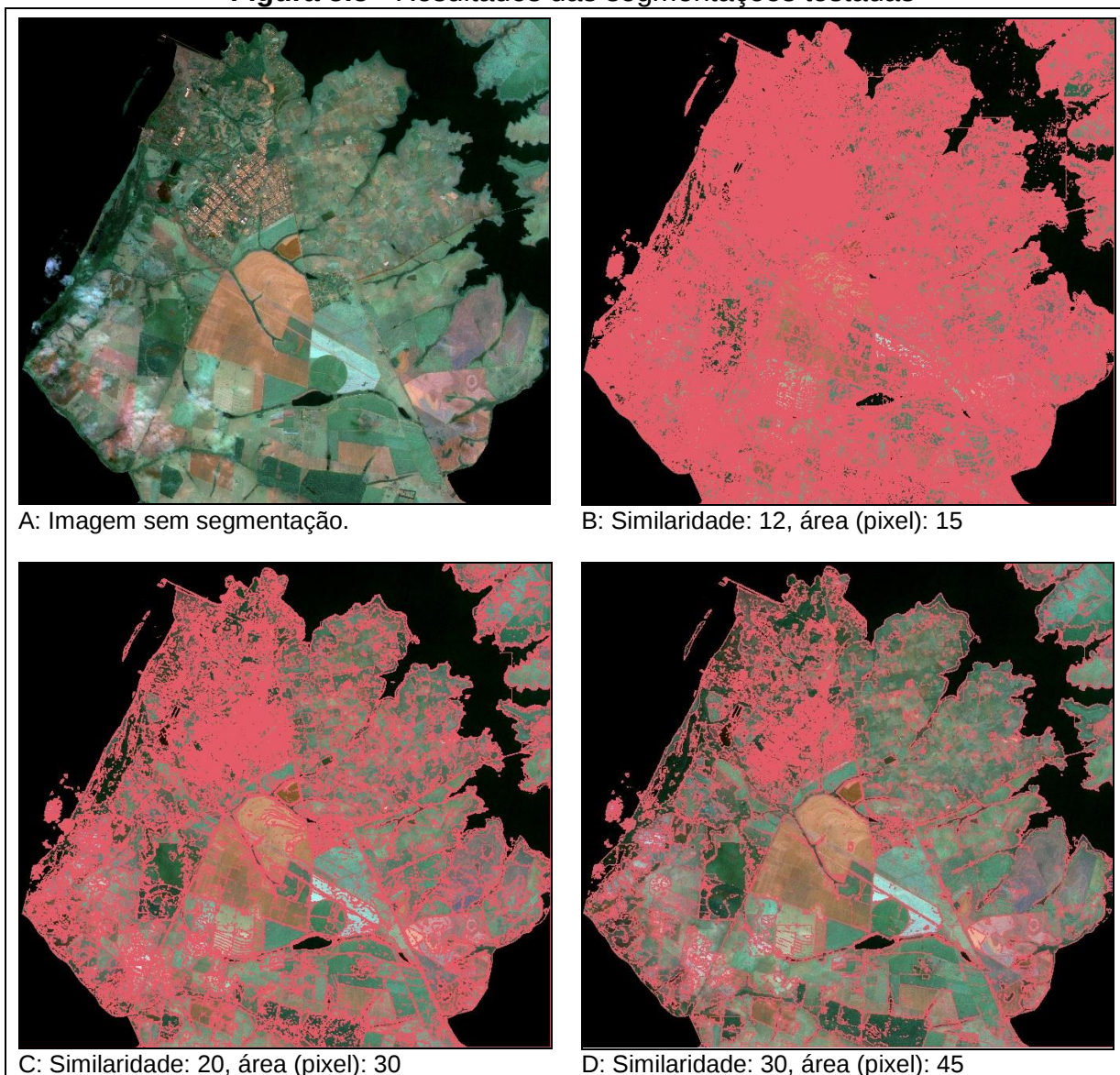
Fonte: autor

5.2 Evolução espaço-temporal do uso da terra nas bacias hidrográficas urbanas da cidade de Ilha Solteira – SP (1978-2009)

Os mapas de uso da terra foram confeccionadas a partir de fotografia aérea (1978) e imagem de satélite (2009), por meio de técnicas de fotoidentificação em ambiente SIG. Para o mapa de 2009, devido a resolução da imagem de 2,5 metros, foram gerados classificações adotando-se diferentes métodos de classificação no SPRING.

Testou-se diferentes resultados de segmentação e optou-se pela utilização de similaridade 30 para uma área de 45 (figura 5.5).

Figura 5.5 - Resultados das segmentações testadas



Fonte: autor

Realizaram-se três mapeamentos para auxiliar no mapeamento final: por pixel com o classificador MAXVER; por segmentação supervisionada, com o classificador Battacharya e por segmentação sem supervisão, com o classificador Isoseg (figura 5.6). Por meio destes resultados de mapeamento pode-se nortear as validações em campo dos pontos de conflito para a confecção do mapa de uso da terra de 2009.

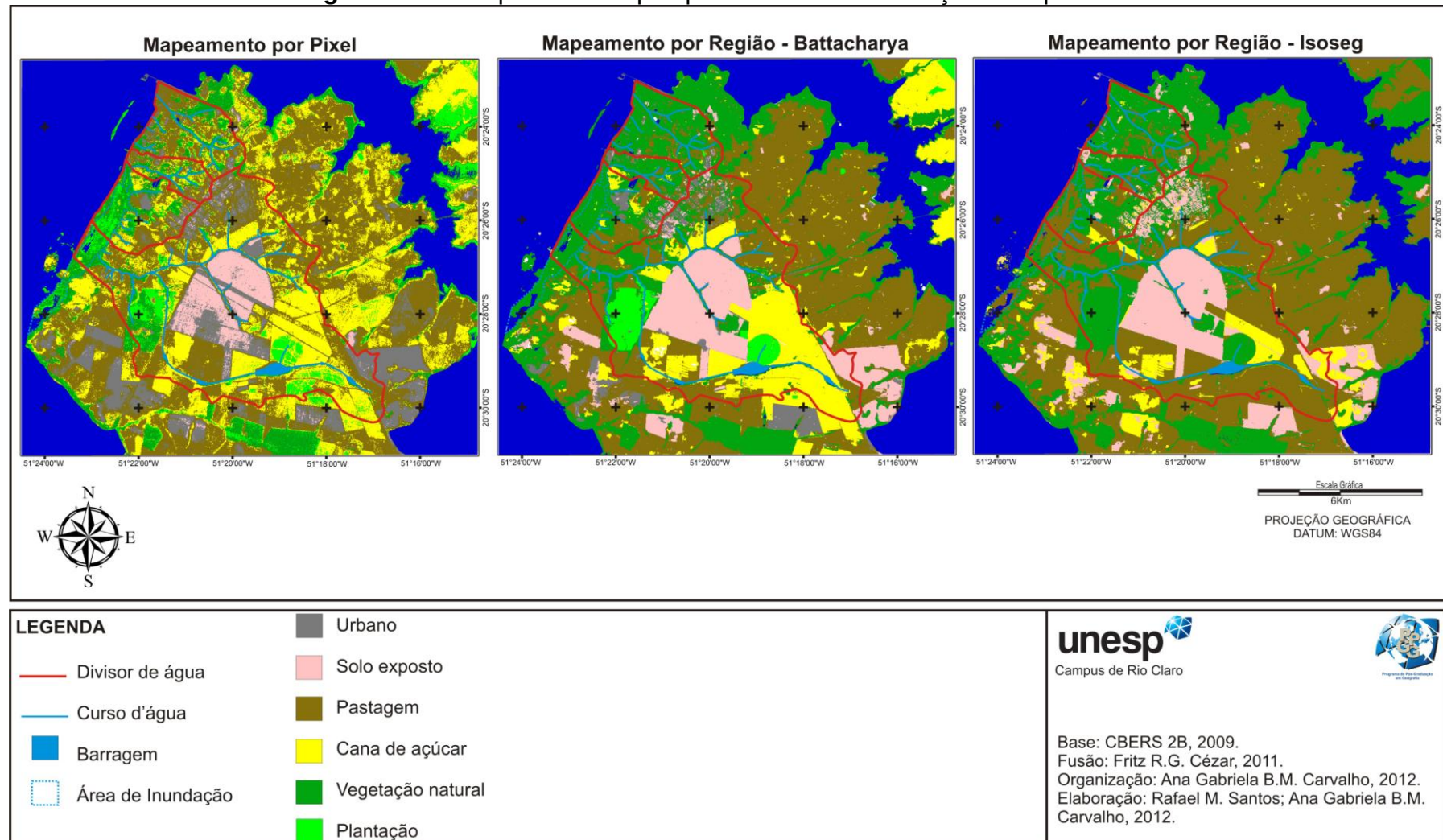
As cartas de uso da terra foram de suma importância para o desenvolvimento da pesquisa. Além delas fornecerem base para as metodologias utilizadas, elas nos permite conhecer a maneira como ocorreu as transformações espaço-temporais na área de pesquisa (figura 5.7).

Através dos mapas podemos analisar intensas diferenças de usos da terra na área total da bacia. As diferenças por bacias serão discutidas detalhadamente do capítulo seis.

A principal modificação diz respeito primeiramente a exposição de solo exposto nas áreas próximas à construção da usina hidrelétrica (1978). Essas áreas eram utilizadas para retirada de terra para a construção da própria usina. Em 1978 pode-se observar também que o principal uso econômico era a pastagem.

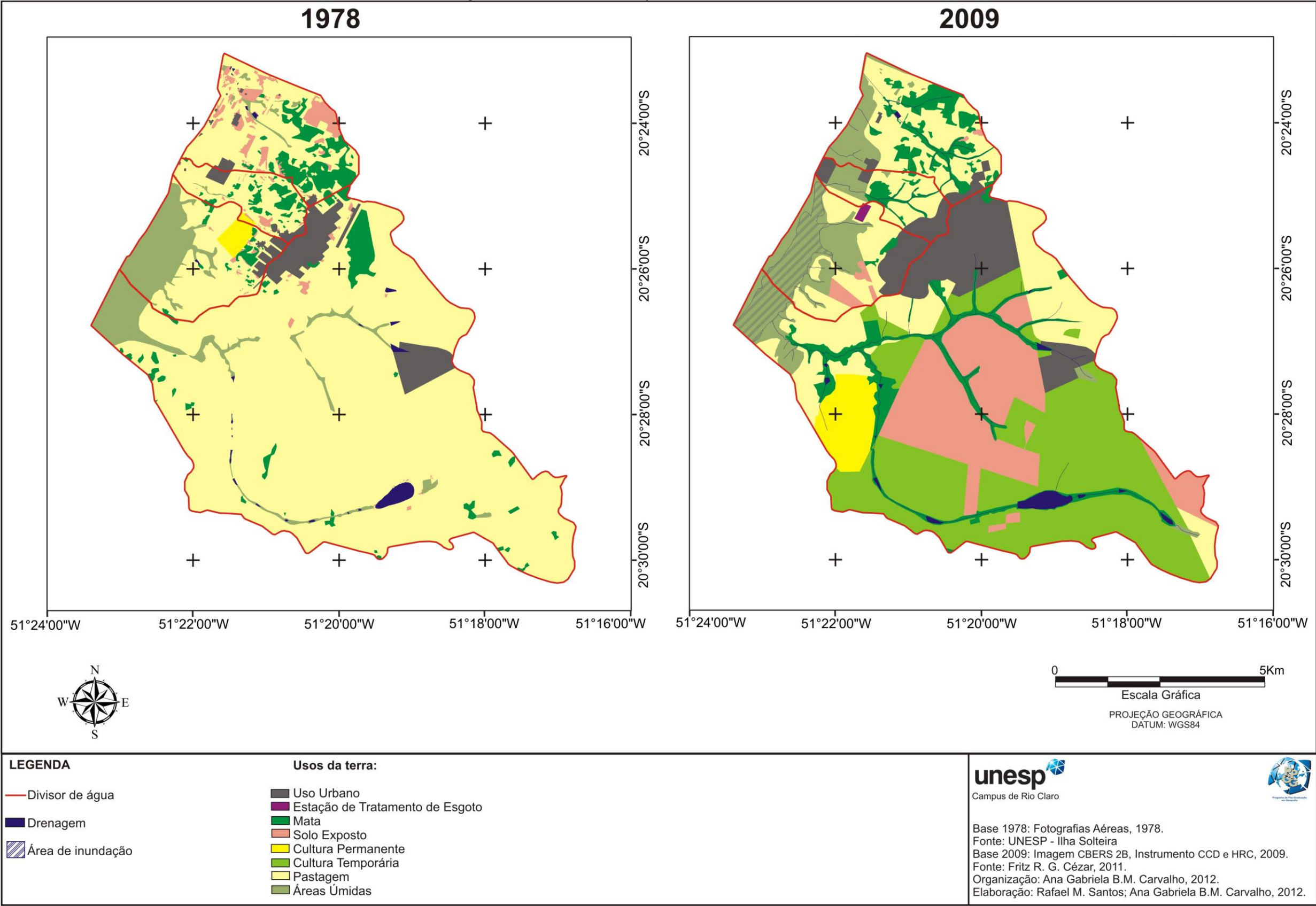
Na carta de 2009, percebe-se o aumento das áreas de proteção permanente (APP) nos entornos dos córregos e a modificação de grandes áreas de pastagem para a cultura temporária (cana-de-açúcar).

Figura 5. 6 - Resposta final após processo de classificação e mapeamento



Fonte: autor.

Figura 5.7 - Uso da terra para os anos de 1978 e 2009



5.2.1 Evolução espaço-temporal do uso da terra na cidade de Ilha Solteira – SP (1978-2009)

A figura 5.8 é um comparativo da evolução do uso da terra dentro do núcleo urbano da cidade de Ilha Solteira.

O mapeamento foi realizado considerando uma escala de ocupação, que vai desde densamente ocupado (quarteirões formados e com densa ocupação), a parcialmente ocupado (quarteirões com pouca ocupação e com presença de lotes vagos) e em processo de ocupação (loteamentos iniciais, pouco ocupados ou sem ocupação).

Delimitou-se também as áreas vagas (ou livres) que consiste em áreas de circulação de veículos e pedestres, e podem ser vias, avenidas e praças. São áreas que se localizam entre os passeios (quarteirões moldados com vielas) e na avenida principal.

As áreas verdes são formadas por parques com densa vegetação ou áreas de mata ciliar que se encontra dentro da cidade. Já as áreas não urbanizadas, são porções localizadas no contorno da cidade, mas que ainda não foram loteadas, são formadas em especial por pastagens e áreas com solo exposto.

Neste contexto, percebe-se uma evolução no processo de ocupação em direção a nordeste-leste-sudoeste, sendo que esta ocupação foi mais intensa na região sudeste. Na região norte, é observável que a cidade manteve seu contorno original (em formato de violão). Processo explicável devido esta região estar localizada próxima ao Rio Paraná que serve como fronteira natural que impede a evolução desta ocupação.

Figura 5.8 - Uso da terra para os anos de 1978 e 2009

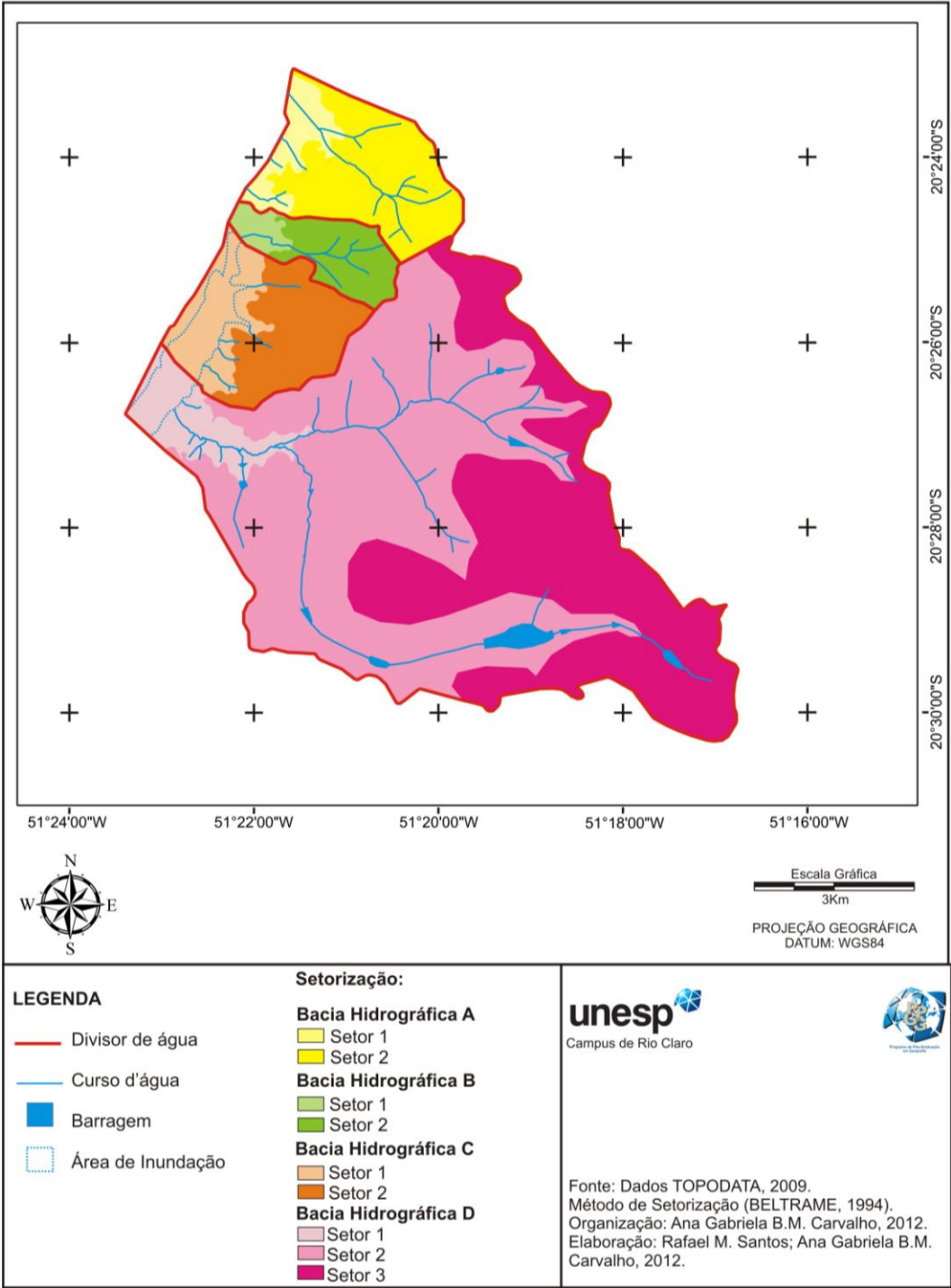


Fonte: autor

5.3 Análise dos resultados por setores das bacias

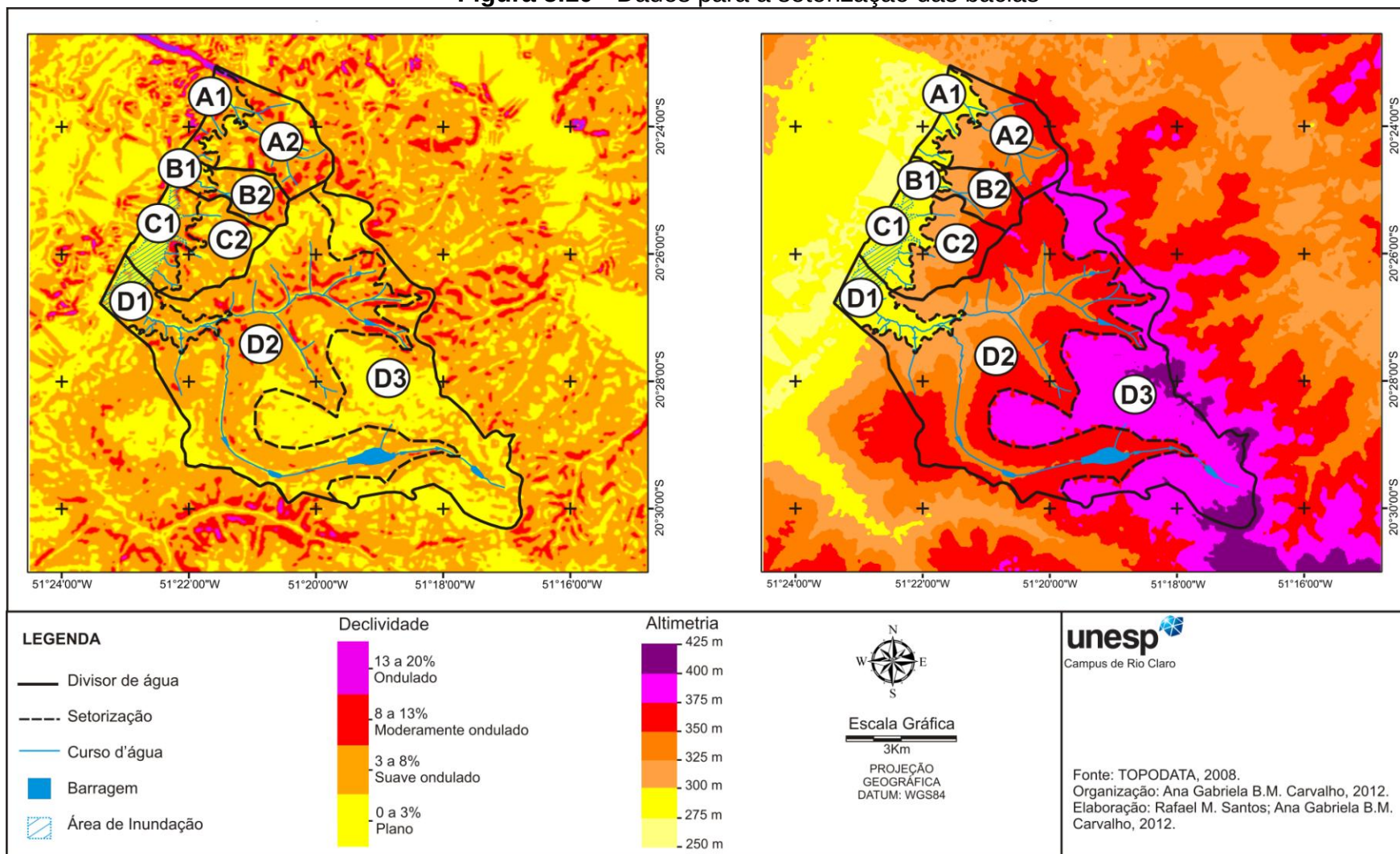
Os setores (ou compartimentos) das bacias estudadas foram definidos a partir de dados altimétricos e de declividade e é uma etapa obrigatória para a aplicação das metodologias propostas na pesquisa.(figura 5.9 e 5.10).

Figura 5.9 - Setorização da Paisagem



Fonte: autor

Figura 5.10 - Dados para a setorização das bacias



Fonte: Autor

5.3.1 Bacia Hidrográfica A: Bacia Hidrográfica do Jardim Novo Horizonte

A bacia hidrográfica A (figura 5.14), conhecida como bacia hidrográfica do Jardim Novo Horizonte, é formada pelo córrego do Jardim Novo Horizonte e seus afluentes. No setor 1 da bacia, temos a área urbanizada da bacia e suas nascentes. No setor 2, parte baixa da bacia, encontramos a parte canalizada do córrego Jardim Novo Horizonte até sua fôz no rio Paraná e a presença de pequenos canais fluviais. (figuras 5.11, 5.12 e 5.13).

Figura 5.11 - Nascentes do córrego do Jardim Novo Horizonte. Ao fundo, uso urbano



Fonte: autor

Figura 5.12 - Início da canalização



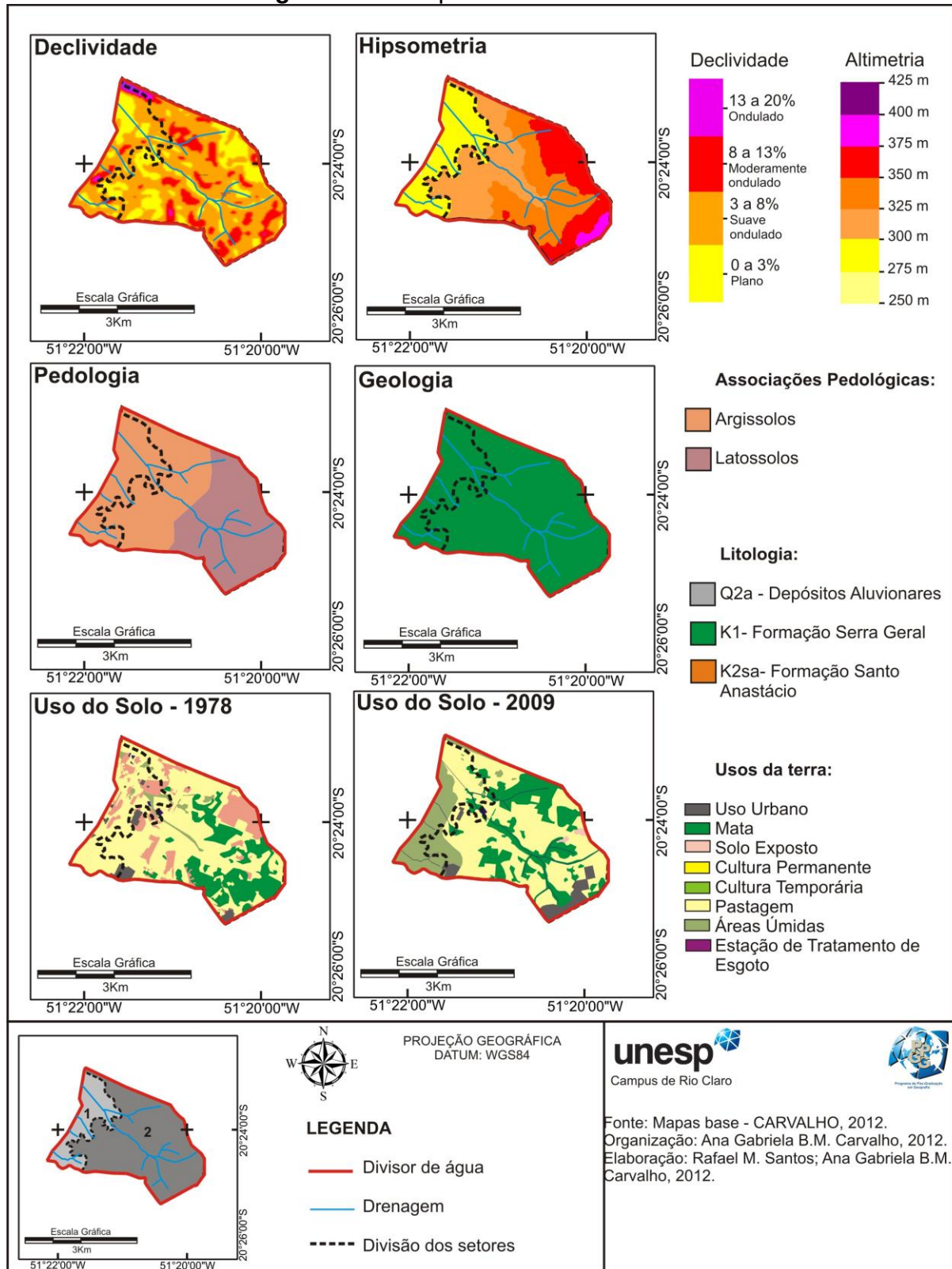
Fonte: autor

Figura 5.13 - Respiro da canalização



Fonte: autor

Figura 5.14 - Aspectos físicos da bacia A



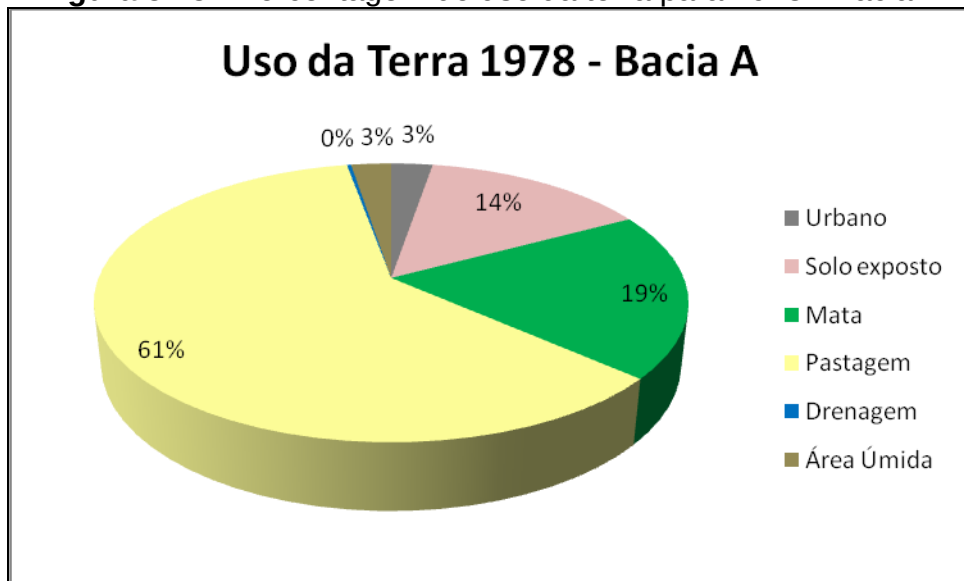
Fonte: autor

A bacia A possui declividades mais acentuadas, entre 0 e 20% e uma hipsometria que varia entre 275 e 400 metros, sendo que o setor 1 apresenta-se nas áreas baixas da bacia (entre 275 e 300 metros).

Nesta bacia, as principais diferenças de uso do solo estão relacionadas a exposição de solo exposto na bacia, já que as grandes porções de retirada de areia para construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira aconteceu nesta área.

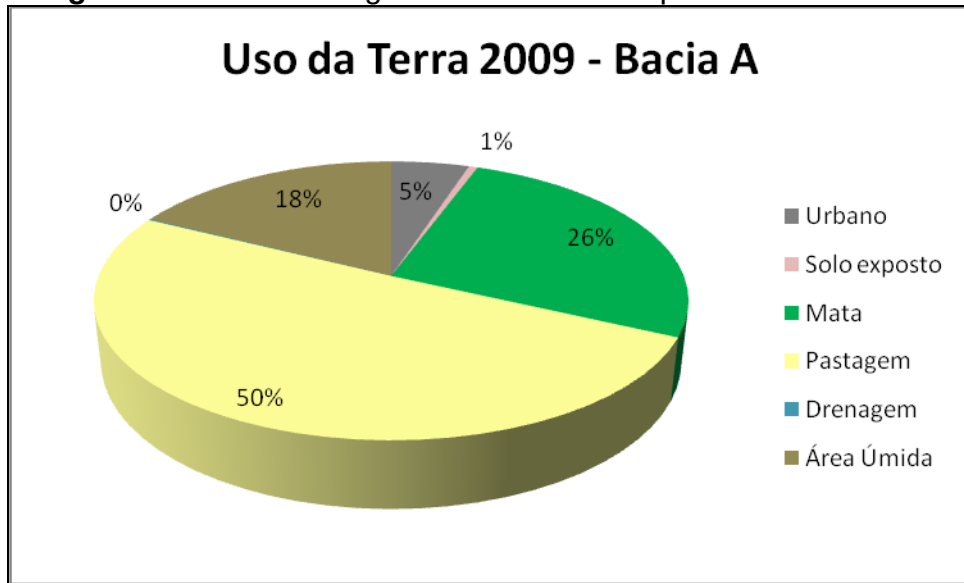
Outra característica observável é a recomposição de vegetação ciliar (em 2009) e aumento da mancha urbana. Um ponto questionável é a apresentação de áreas úmidas na carta de 2009, ocasionada possivelmente pela elevação do nível de base do rio Paraná depois da formação do lago da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (figuras 5.15 e 5.16).

Figura 5.15 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia A



Fonte: autor

Figura 5.16 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia A



Fonte: autor

5.3.2 Bacia Hidrográfica B: Bacia Hidrográfica do Cinturão Verde

A bacia hidrográfica B (figura 5.19), conhecida como bacia hidrográfica do Cinturão Verde, é formada pelo córrego do Cinturão Verde e seus afluentes. A fóz se localiza na planície de inundação do rio Paraná e recebe grande parte do sistema de drenagem urbano da cidade de Ilha Solteira (figuras 5.17 e 5.18).

Figura 5.17 - A grama baixa é um indicativo de direcionamento da enxurrada superficial

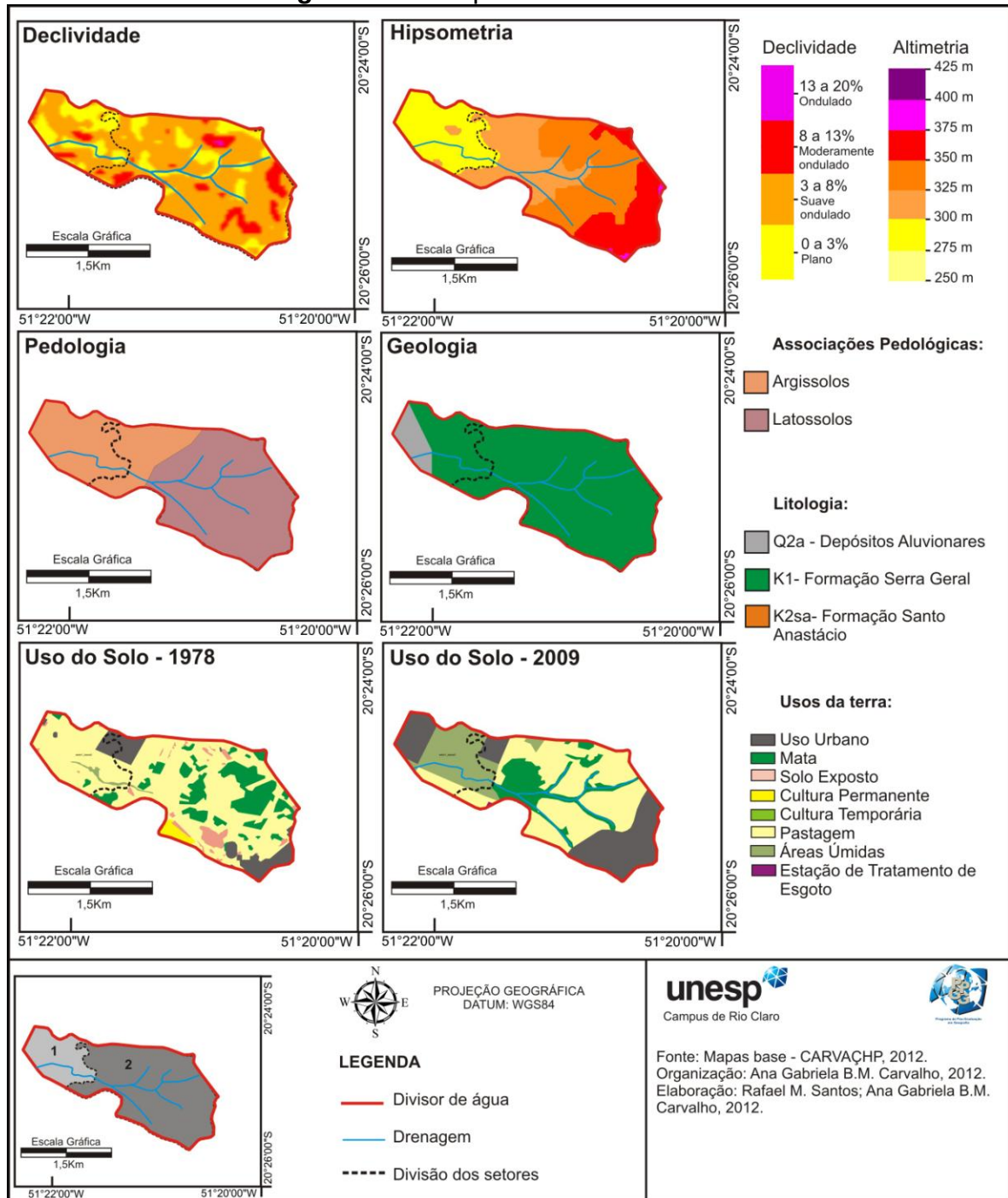


Fonte: autor.

Figura 5.18 - Canais do sistema de drenagem ligados a um dos afluentes do córrego



Fonte: autor

Figura 5.19 - Aspectos físicos da bacia B

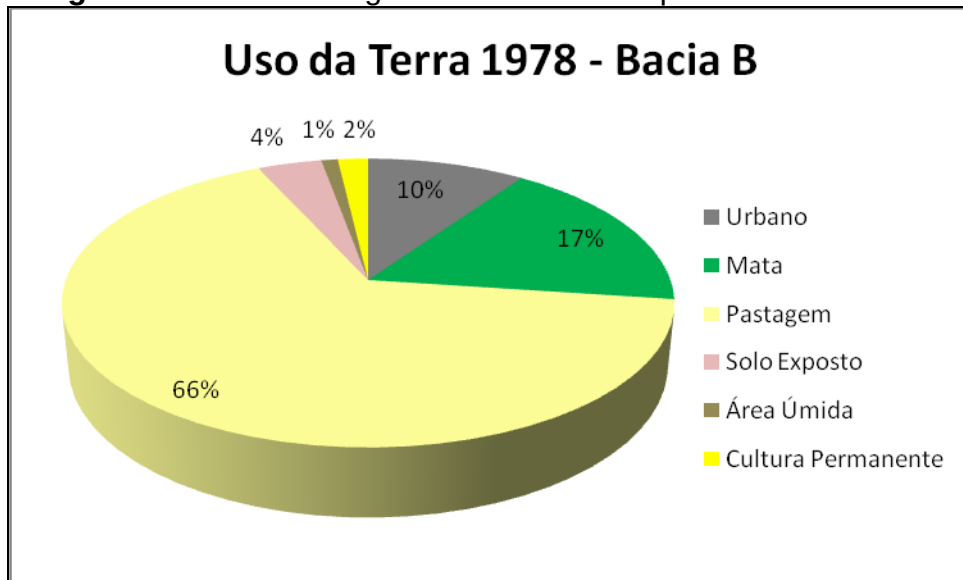
Fonte: autor

A maior porção da bacia possui declividades entre 0 a 8%, tendo picos entre 8 e 20%. A hipsometria varia entre 275 e 375 metros, sendo que o setor 1 apresenta-se nas áreas baixas da bacia (entre 275 e 300 metros).

Nesta bacia houve uma diminuição na quantidade de mata em relação a área, porém a mesma classe de uso da terra aumenta quando se discute as áreas de preservação permanente, ou seja, no entorno dos canais fluviais. Houve um

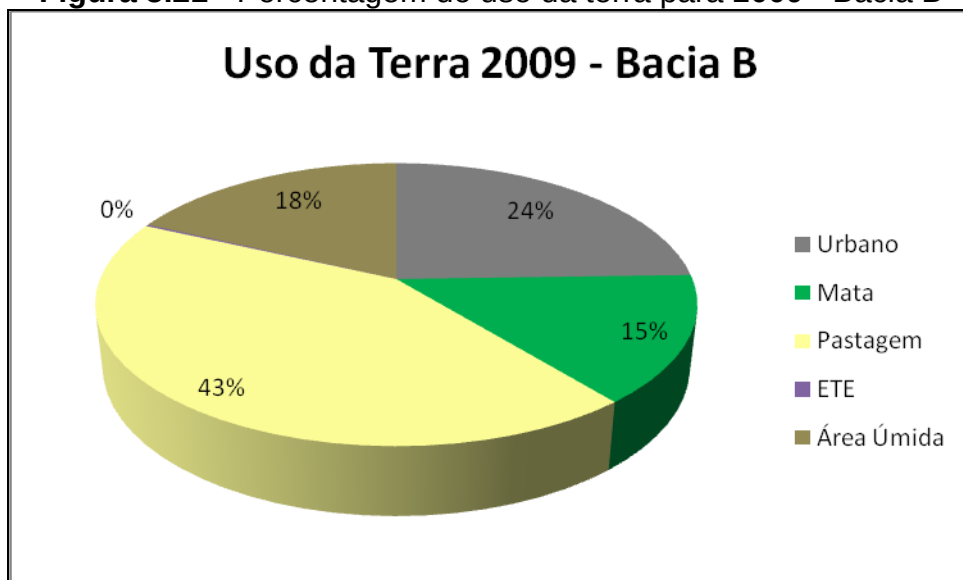
aumento significativo na área urbana, e principalmente no setor 1 o aparecimento de áreas úmidas (figuras 5.20 e 5.21).

Figura 5.20 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia B



Fonte: autor

Figura 5.21 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia B



Fonte: autor

5.3.3 Bacia Hidrográfica C: Bacia Hidrográfica dos Pequenos Canais

A bacia hidrográfica C (figura 5.23), nomeada como bacia hidrográfica dos Pequenos Canais, devido ser formada por pequenos canais fluviais que deságuam na planície de inundação do Rio Paraná (figuras 5.22)

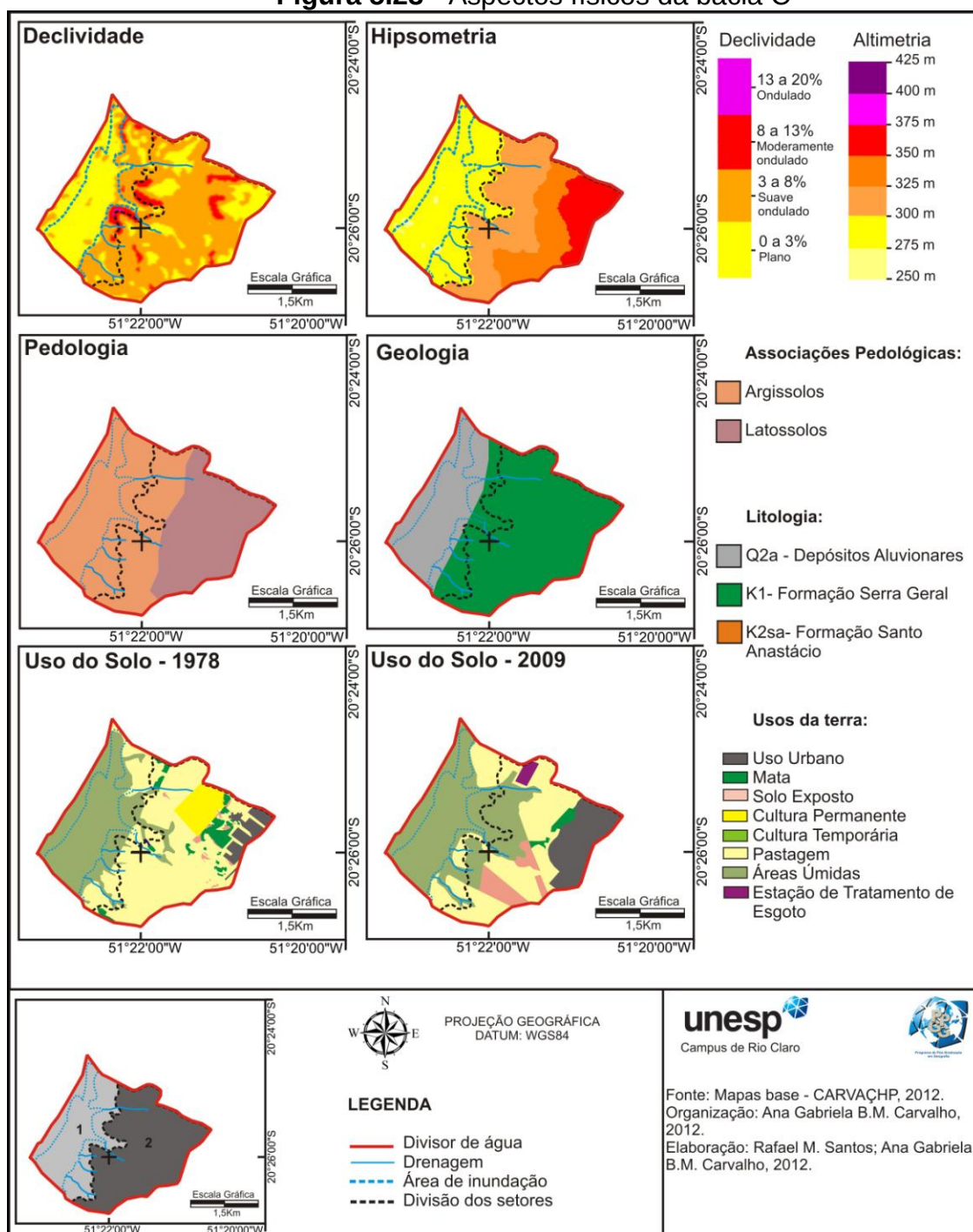
Figura 5.22 - Recorte da bacia C na imagem CBERS



Imagem: CÉZAR, 2011.

Fonte: Autor

Figura 5.23 - Aspectos físicos da bacia C

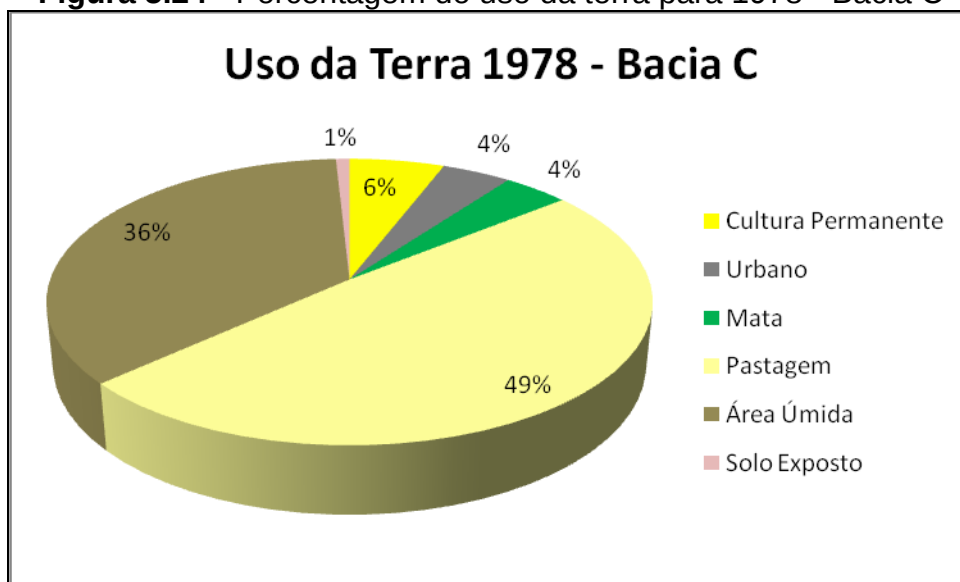


Fonte: autor

A principal característica desta bacia é que na maior parte a declividade é muito baixa, características planas ao terreno. Em sua grande maioria a declividade varia entre 0 a 8%, possuindo apenas pequenas porções com declividade um pouco mais acidentada, mas que não ultrapassa 13%. A hipsometria varia entre 250 a 300 metros no setor 1, e 300 a 375 metros no setor 2.

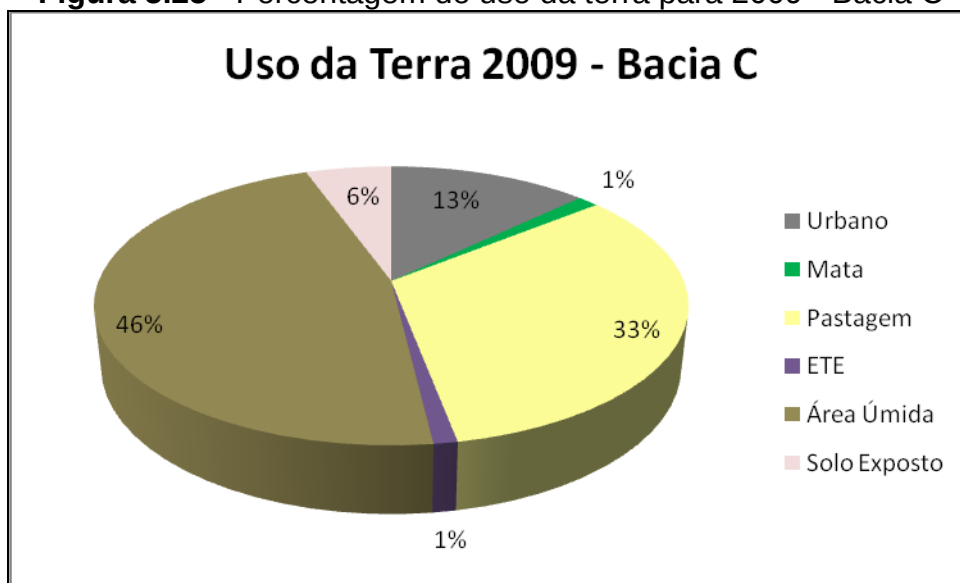
Nesta bacia a grande mudança no uso da terra está relacionada ao uso urbano e a ampliação do traçado urbano (figuras 5.24 e 5.25).

Figura 5.24 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia C



Fonte: autor

Figura 5.25 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia C



Fonte: autor

5.3.4 Bacia Hidrográfica D: Bacia Hidrográficas das Lagoas

A bacia hidrográfica D (figura 5.30), conhecida como bacia hidrográfica das Lagoas, é formada pelos Córrego do Ipê, Córrego das Lagoas e seus afluentes, que formam o Córrego Caçula. Recebe grande aporte de matéria e energia oriundos do sistema de drenagem urbano e, nesta área, foram constatados grandes processos erosivos (figuras 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29)

Figura 5.26 - Processo erosivo após canalização do sistema de drenagem



Fonte: autor

Figura 5.27 - Lixo que enrosca nas raízes pelo processo de enxurrada



Fonte: autor

Figura 5.28 - Obras de engenharia para diminuição de velocidade do sistema de drenagem. Abaixo, processo erosivo



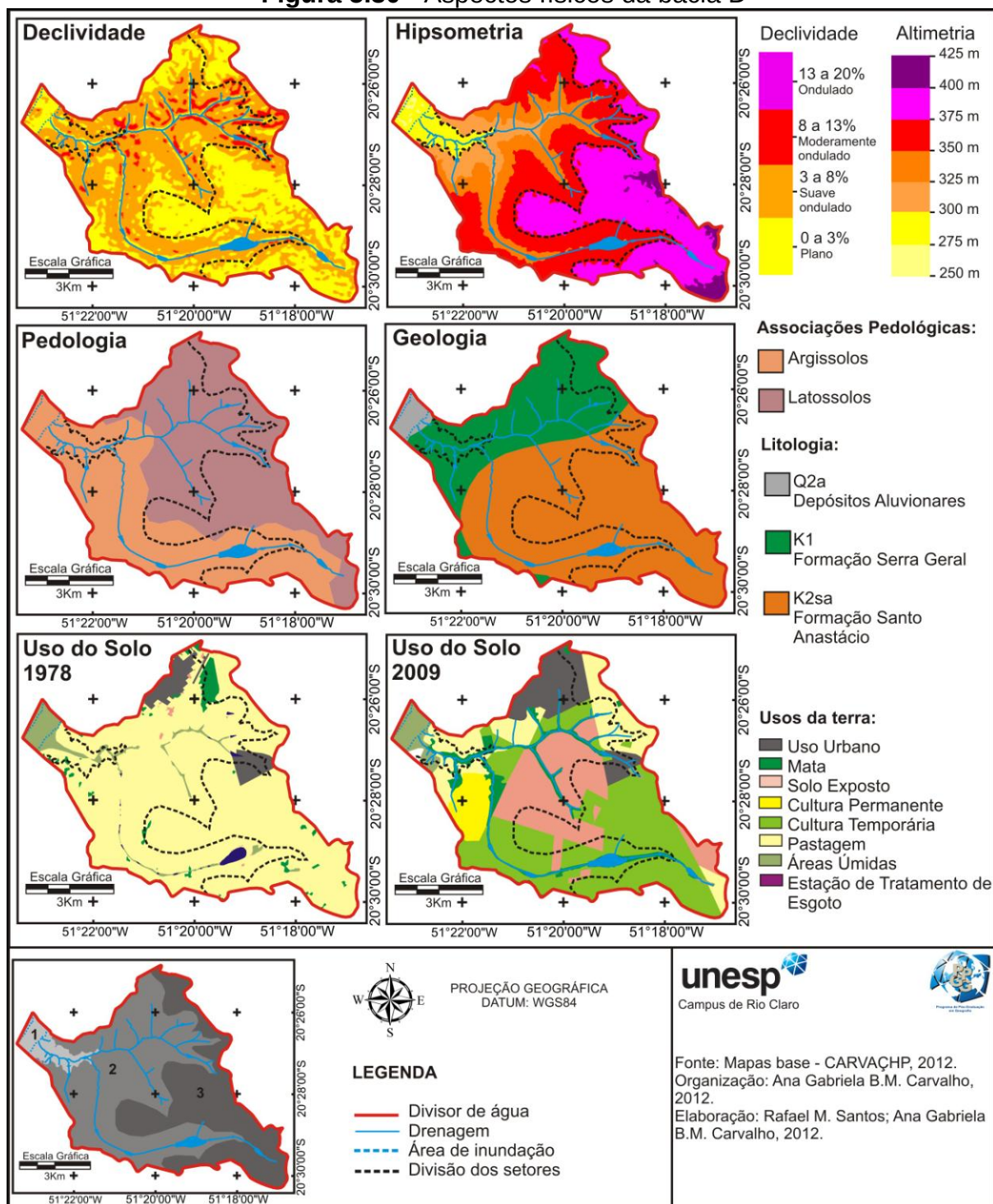
Fonte: autor

Figura 5.29 - Atrás, processo erosivo em estágio avançado. A frente, deposição de descarte de construção civil



Fonte: autor

Figura 5.30 - Aspectos físicos da bacia D

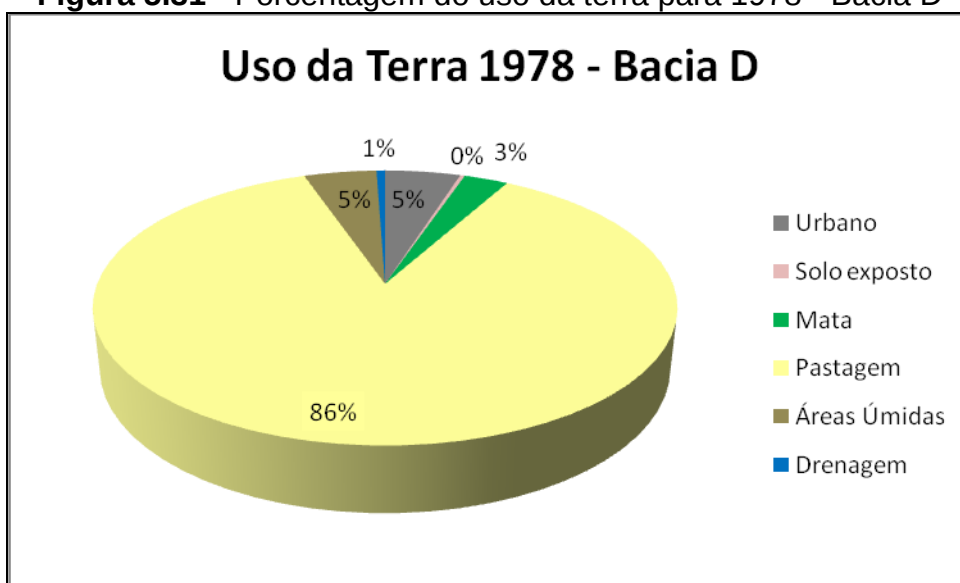


Fonte: autor

A bacia hidrográfica D possui declividade baixa, variando entre 0 a 8%, possuindo apenas pequenas parcelas próximas ao canal fluvial com declividade um pouco mais acidentada, mas que não ultrapassa 13%. A hipsometria varia entre 250 a 300 metros no setor 1, 300 a 375 metros no setor 2 e 375 a 425 metros no setor 3.

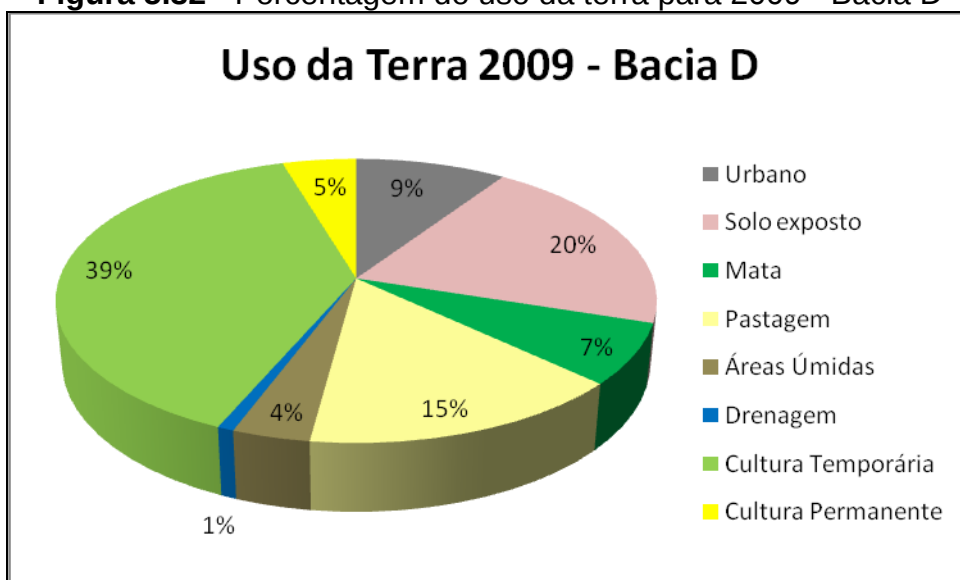
Esta bacia foi a que apresentou maiores modificações no uso da terra. A predominância de pastagem (1978) passou para cultura temporária de cana-de-açúcar, com pequenas áreas de pastagem e de cultura permanente (2009). A área urbana também teve considerável aumento, principalmente devido a implantação de novos bairros. As áreas de mata ao redor dos canais fluviais (áreas de proteção permanente) também tiveram intenso aumento (figuras 5.31 e 5.32).

Figura 5.31 - Porcentagem do uso da terra para 1978 - Bacia D



Fonte: autor

Figura 5.32 - Porcentagem do uso da terra para 2009 - Bacia D



Fonte: autor

6. APLICAÇÃO DE MODELOS AMBIENTAIS EM ILHA SOLTEIRA-SP

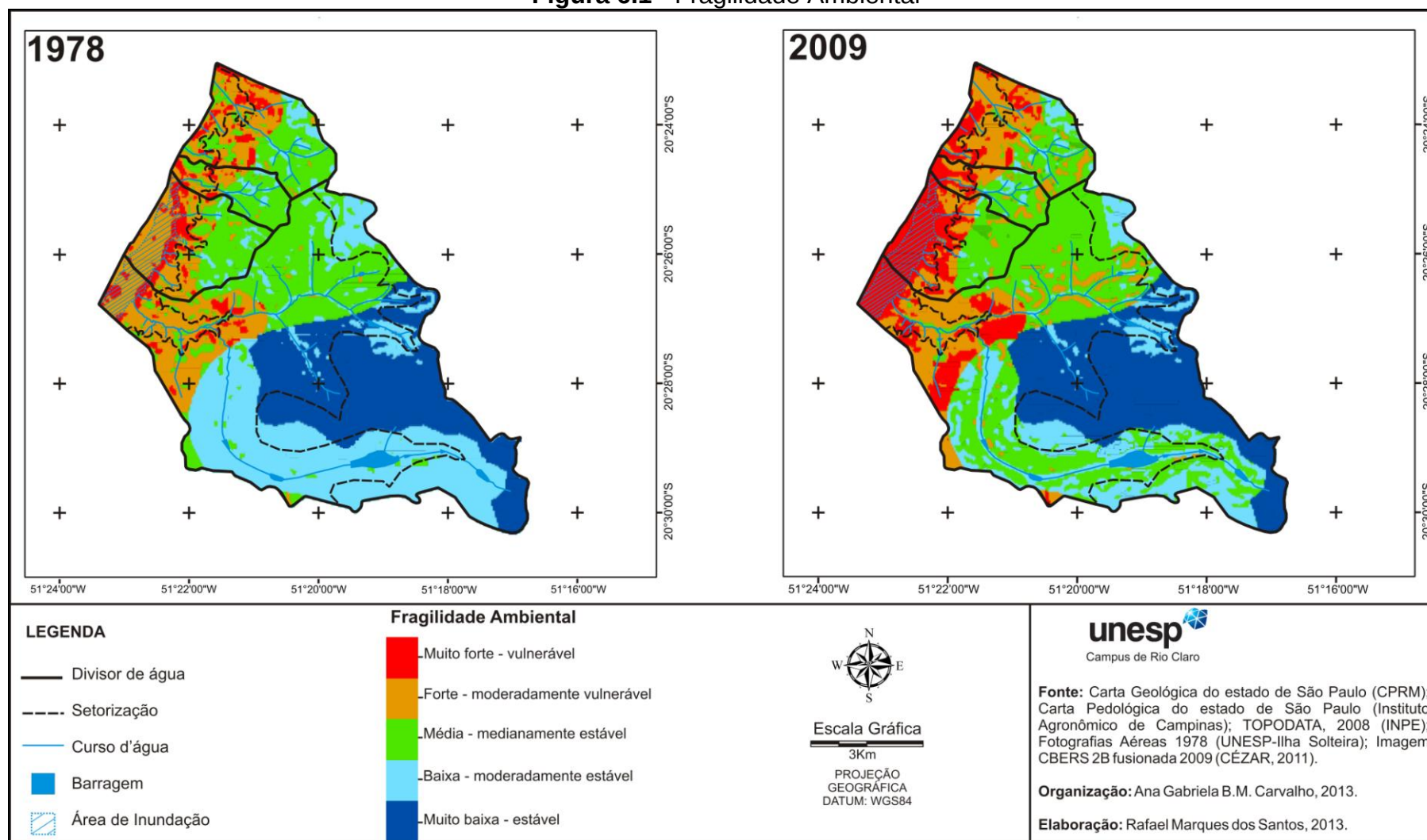
6.1 Fragilidade Ambiental

O modelo de fragilidade ambiental (figura 6.1) proposto por Crepani et al (2001) foi baseado em indicadores sugeridos por Tricart (1977) em seu livro "ecodinâmica". Para a área de pesquisa utilizou-se quatro dos cinco dados apontados por Crepani et al (2001): geologia, pedologia, uso da terra e declividade. O indicador "clima" foi dispensado pois a bacia comporta um único regime climático. Os pesos para cada atributo foram delimitados de acordo com a proposta do autor (tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Atributos e pesos - Fragilidade Ambiental

ATRIBUTOS	PESO
Geologia	
Depósitos Aluvionares	3
Santo Anastácio	1,2
Serra Geral	2,5
Pedologia	
Argissolo	2
Latossolo	1
Uso da Terra	
Drenagem	1
Urbano	3
Pastagem	1,9
Mata	1,0
Cultura Temporária	2,8
Cultura Permanente	2,7
Solo Exposto	2,9
Área Úmida	2
ETE	3
Declividade	
<2	1
2-6	1,5
6-20	2
20-50	2,5
>50	3

Figura 6.1 - Fragilidade Ambiental



Fonte: autor. Baseado em Crepani et al (2001).

Os resultados para Fragilidade Ambiental revelam dados modulados principalmente pela pedologia e geologia, com algumas manchas influenciadas pelo uso da terra. A declividade pouco influenciou na fragilidade, já que o relevo da área varia de plano a ondulado, com até 20% de declividade.

Nos dois cenários, as áreas com vulnerabilidade de forte a muito forte localizam-se entre oeste-noroeste-norte. Estas áreas estão no setor 1 das bacias, com geologia Serra Geral, argissolo e relevo plano a suavemente ondulado. São áreas ocupadas, nos dois cenários, principalmente por várzea e pastagem. Provavelmente, se a litologia não fosse basalto, esta área teria resultados muito mais preocupantes.

Nas regiões nordeste-centro-leste dos cenários, setor 2 das bacias, a fragilidade é de nível médio, com algumas manchas de baixa fragilidade. São áreas planas a moderadamente onduladas, em Serra Geral (basalto) e latossolos. O urbano modelou algumas manchas de fragilidade forte, principalmente próximo a drenagem.

Na região sudeste, setor 3 da bacia D, apesar das modificações no uso da terra entre os dois cenários, a fragilidade para esta área resultou em muito baixa. Os resultados são consequência dos atributos da área, com geologia de Serra Geral e Santo Anastácio, latossolo e principalmente relevo plano a suavemente ondulado.

A região sul-sudoeste foi a única que sofreu mais modificações ao analisarmos os cenários. A área possui relevo plano a suavemente ondulado, geologia Santo Anastácio (arenitos) e argissolo. Apesar do relevo favorecer a estabilidade, em comparação com as outras áreas, a litologia e a pedologia favorecem uma maior fragilidade, o que permitiu uma maior interação no modelo os dados de uso da terra. Em 1978 a fragilidade era baixa e o uso era de pastagem, já em 2009 a fragilidade resultou de média a baixa com a introdução do plantio de cana-de-açúcar (cultura temporária).

6.2 DFC - Diagnóstico Físico-Conservacionista

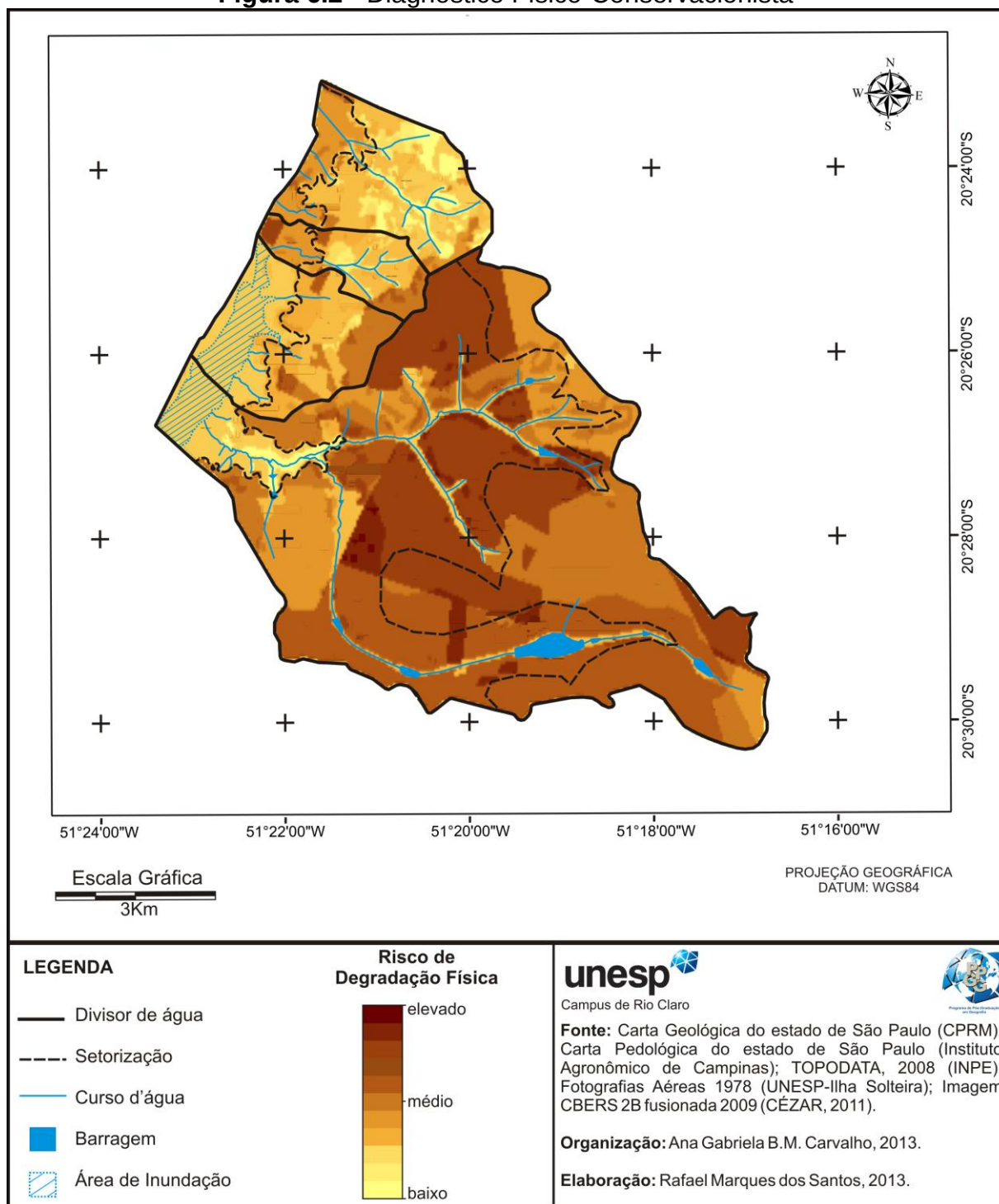
O modelo proposto por Beltrame (1994) define numericamente o risco de degradação física dos setores de um bacia hidrográfica. Adaptamos os atributos propostos por Beltrame (1994), desconsiderando os dados relacionados ao clima, já que o mesmo não modificaria nenhum resultado devido ao porte das bacias. Estes

dados receberam os mesmos valores (tabela 6.2) propostos pela autora. O resultado final foi um mapa com o "diagnóstico físico-conservacionista" (figura 6.2).

Tabela 6.2 - Atributos e pesos - DFC

ATRIBUTOS	PESO
Pedologia	
Argissolo	4
Latosolo	3
Uso da Terra	
Drenagem	1
Urbano	7
Pastagem	4
Mata	1
Cultura Temporária	5
Cultura Permanente	3
Solo Exposto	7
Área Úmida	4
ETE	7
Declividade	
<2	1
2-6	1
6-20	2
20-50	3
>50	4
Grau de Semelhança (por setores)	
81 a 100%	1
61 a 80%	2
41 a 60%	3
21 a 40%	4
1 a 20%	5

Figura 6.2 - Diagnóstico Físico-Conservacionista



Fonte: Autor. Baseado em BELTRAME (1994).

Os resultados revelados por este modelo ambiental foi mais aplicável para as bacias, pois as respostas dos atributos foram mais reconhecidas no resultado final, devido principalmente o modelo considerar o grau de semelhança entre os cenários

selecionados (1978-2009). Sendo assim o modelo conseguiu registrar o passado e o atual e as consequências das modificações ocorridas nas bacias hidrográficas.

A bacia A possui o relevo mais acidentado das bacias selecionadas para teste, sendo que sua declividade varia de plano a ondulado, e formação Serra Geral (basalto). No setor 1 da bacia a pedologia é argissolo o que influencia um risco para degradação médio. Este setor foi modificado muito de um cenário para o outro. Em 1978 a área era utilizada como canteiro de obra para a construção da usina hidroelétrica e área de empréstimo, já em 2009 a área sofre a influência do lago da UHE devido a elevação do nível de base e o alagamento e formação de áreas úmidas em seu terreno. No setor 2 encontramos solos do tipo argissolo e latossolo e as modificações no uso da terra se basearam principalmente no aumento da vegetação ao redor dos córregos e recomposição de áreas de empréstimo. O urbano também avançou nesta área ao sul da bacia. Estes fatores resultaram em um diagnóstico de risco a degradação baixo para este setor da bacia.

A bacia B apresenta um relevo de plano a ondulado, com presença de depósitos aluvionares as margens do Rio Paraná e formação Serra Geral (basalto) no restante da bacia. O setor 1 possui solos do tipo argissolo e um uso da terra que se modificou de pastagem para área úmida devido a elevação do nível de base. Estes fatores modularam um risco médio a degradações. No setor 2 os solos são do tipo argissolo e latossolo, e as modificações no uso da terra estão relacionadas a localização das áreas verdes, que agora se encontram mais próximas aos cursos d'água. O urbano também se ampliou na bacia, no setor 1 próximo ao rio (porto) e no setor 2 na região sudeste. Para o setor 2 o resultado do modelo revelou um risco médio em áreas urbanas e baixo em outras áreas.

A bacia C possui relevo de plano a suavemente ondulado, com manchas de moderadamente ondulado. O setor 1 apresenta solos do tipo argissolo e geologia de depósitos aluvionares. O uso da terra pouco se modificou neste setor devido ser uma área de inundação. Estes fatores favoreceram um risco baixo para o diagnóstico ambiental. O setor 2 apresenta geologia Serra Geral e solos do tipo latossolo nas partes mais altas e argissolo nas demais. O uso da terra sofreu poucas modificações, com a remoção de áreas de cultura permanente e o avanço do urbano a leste da bacia. Os fatores influenciaram para um diagnóstico de risco baixo na maioria do setor, mas com manchas de risco médio no urbano e em áreas de solo exposto.

A bacia D no geral apresenta relevo de plano a moderadamente ondulado e os índices mais elevados ao risco a degradação, devido principalmente as modificações referentes ao uso da terra ocorridas na bacia hidrográfica. No setor 1 o risco a degradação é baixo segundo o modelo devido principalmente ao uso da terra que não sofreu quase modificações devido sua maioria ser área de inundação. No setor 2 o risco é de médio a alto, principalmente na área urbana. É uma área com geologia de formação Serra Geral e Santo Anastácio, pedologia do tipo argissolo e latossolo, e uma grande variação no uso da terra, que em 1978 era baseada quase que na totalidade em pastagem, e em 2009 uma variação de cultura permanente, temporária e pastagem. O setor 3 da bacia obteve resultados variando de médio a alto, devido também as modificações das variações no uso do solo e ao tipo de solo.

6.3 Proposição de um novo modelo de diagnóstico ambiental

Um novo modelo cartográfico de diagnóstico ambiental foi sugerido neste trabalho. Foi proposto, baseado em Tricart (1977), cruzar os atributos utilizados por Crepani et al (2001) e Beltrame (1994). Na verdade, os modelos estudados serviram como teste para a escolha dos atributos que melhor respondessem a realidade representada nas bacias.

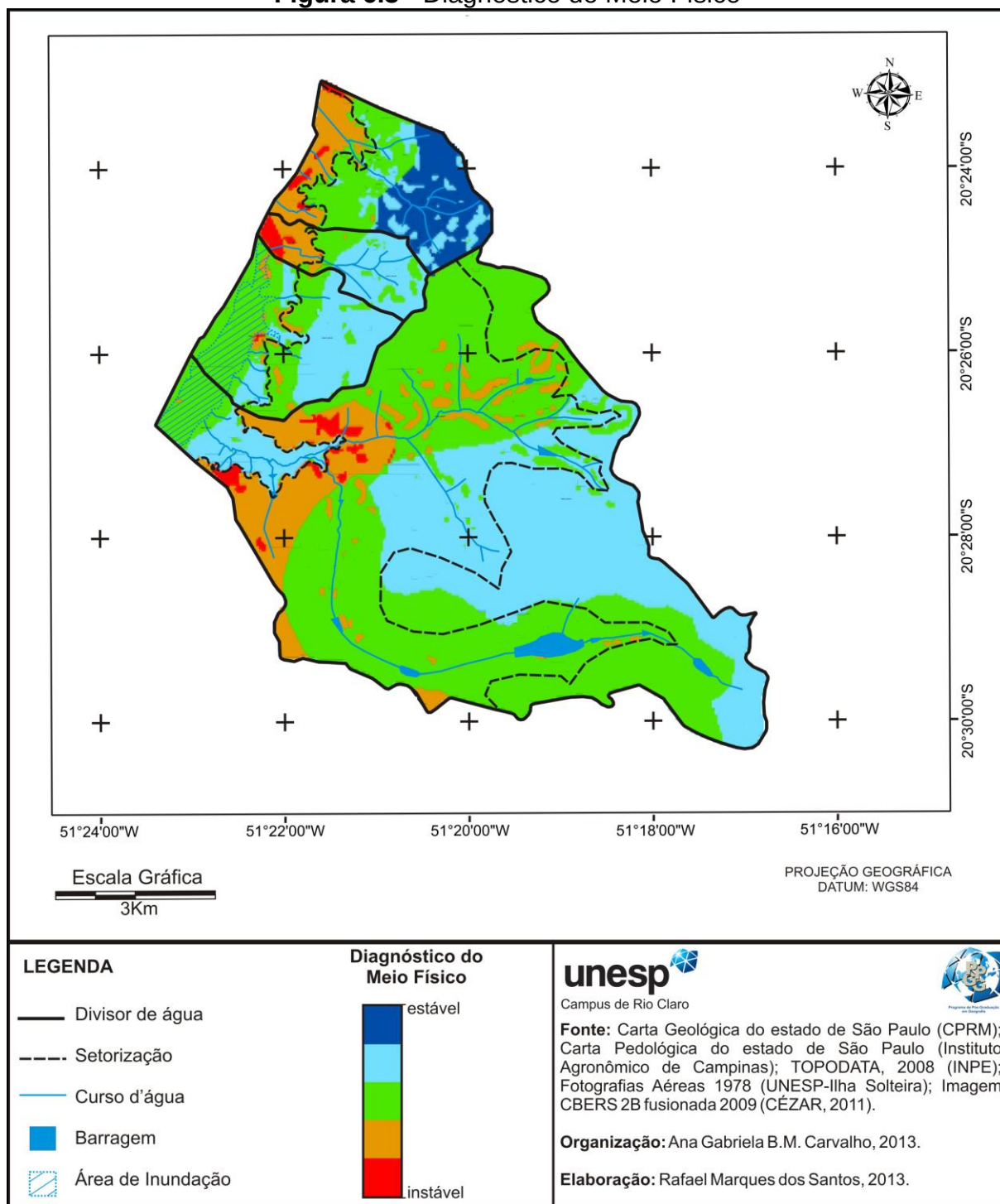
O intuito era o de desenvolver um modelo que respondesse de maneira clara as áreas de bacias hidrográficas que precisam de maior atenção do poder público, ou seja, as áreas de interesse para a gestão pública.

O resultado final (figura 6.3) foi a obtenção de um mapa de diagnóstico do meio físico, com legenda que varia de estável a instável. Os atributos e pesos utilizados para a obtenção deste resultado mesclaram as duas metodologias (tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Atributos e pesos - Diagnóstico do Meio Físico

ATRIBUTOS	PESO
Geologia	
Depósitos Aluvionares	3
Santo Anastácio	1
Serra Geral	2
Pedologia	
Argissolo	3
Latossolo	2
Uso da Terra	
Drenagem	1
Urbano	3
Pastagem	2
Mata	1
Cultura Temporária	2
Cultura Permanente	1,5
Solo Exposto	3
Área Úmida	2,5
ETE	3
Declividade	
<2	1
2-6	1
6-20	1,5
20-50	2
>50	3
Grau de Semelhança (por setores)	
81 a 100%	1
61 a 80%	1,5
41 a 60%	2
21 a 40%	2,5
1 a 20%	3

Figura 6.3 - Diagnóstico do Meio Físico



Fonte: Autor.

O resultado revelou um mapa mais generalizador, de fácil interpretação e com bordas bem definidas que separam um resultado do outro. O modelo foi pensado para a utilização na gestão pública, por isso não poderia levar a um resultado de difícil interpretação. O resultado final deveria responder até mesmo para leigos, de

modo claro as áreas que necessitam de intervenção ou acompanhamento dos administradores públicos.

A bacia A revelou no setor 1 resultados de áreas indo para instáveis, com alguns picos de instabilidade, esses por sua vez influenciados pela declividade. No setor 2 da bacia o solo modulou os resultados. No argissolo o modelo revelou uma estabilidade média, e no latossolo um ambiente estável.

A bacia B mostrou para o setor 1 ambientes instáveis, com piores resultados próximos ao Rio Paraná, modulados principalmente pela geologia e declividade. No setor 2, os resultados revelaram ambientes de média a quase estabilidade, modulados pelos atributos solos e declividade.

A bacia C resultou em um diagnóstico para área de média a quase estável, e os resultados foram modulados principalmente pela pedologia, geologia e declividade, para os dois setores.

A bacia D foi a que obteve valores mais diferentes entre si. No setor 1 os resultados variaram entre média e quase estáveis e foram influenciados pela geologia. O setor 2 sofreu influencia da geologia, pedologia, declividade e uso da terra, e obteve valores variando de quase instáveis para argissolo e Serra Geral, com picos de instabilidade para áreas com declividade de 8 a 13%. Neste mesmo setor os resultados foram de estabilidade média para áreas da formação Serra Geral e latossolo, ou formação Santo Anastácio e argissolo. Manchas com resultados quase instáveis apareceram nestes resultados para áreas com declividade de 8 a 13%. Também apareceram resultados de quase estabilidade em áreas com formação Santo Anastácio e latossolo. No setor 3, resultado de média estabilidade surgiu em áreas com formação Santo Anastácio e argissolo, e resultados de quase estabilidade para áreas com formação Santo Anastácio e latossolo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Considerações a respeito da metodologia utilizada

A pesquisa testou duas metodologias conhecidas, a de fragilidade ambiental (CREPANI et al, 2001) e a de diagnóstico físico-conservacionista (BELTRAME, 1994). Procurou-se adaptar as duas metodologias, fundamentado nas considerações de Tricart (1977), e construir um modelo que demonstrasse um resultado final mais limpo e fácil de ser interpretado.

Comparando os três resultados, observou-se que o objetivo foi alcançado. O modelo, em comparação com os outros testados, gerou uma resposta cartográfica mais limpa visualmente, assim como, resultou em um modelo que respondesse mais a realidade local.

O modelo de Crepani et al (2001) foi um dos escolhidos por também ter sido desenvolvido tendo como base Tricart (1977). O resultado revelou um ambiente mais fragilizado que o real. Ilha Solteira é um município que teve sua ocupação planejada, o urbano se localiza na área mais plana e alta do município, a declividade nas bacias escolhidas para teste é amena, e apesar dos solos friáveis e colapsivos (OLIVEIRA; RODRIGUES; LOLLO, 2006), não detectamos grandes degradações nos locais, apenas erosões de pequeno e médio porte (anexo A).

O modelo de Beltrame (1994), sem adaptações, não fornecem uma resposta visual ou mapa, apenas um resultado numérico. Adaptou-se o modelo matemático sugerido para um modelo cartográfico. O resultado gerado foi bem detalhado, visto que o modelo sugerido abrange diversos indicadores. Esta não era a intenção na confecção do modelo proposto, porém o uso deste modelo foi de fundamental importância, pois ele fornece o uso de cenários e compara as modificações sofridas pelo terreno em um único resultado.

A resposta obtida nesta pesquisa, o modelo de diagnóstico do meio físico, respondeu o objetivo inicial. Os parâmetros geologia, pedologia e declividade conseguiram determinar as características das áreas variando-as de instáveis a estáveis, e os parâmetros uso da terra atual e grau de semelhança definiram limites mais precisos, diferenciando o modelo proposto dos modelos de Crepani et al (2001) e Beltrame (1994).

7.2 Sugestões para a melhoria do modelo proposto

Em um primeiro momento pensou-se na formulação de um modelo pautado na opinião de diversos estudiosos através da aplicação da metodologia Delphi. A metodologia Delphi é uma técnica para busca um consenso de opiniões de um grupo de especialistas a respeito de eventos futuros. A técnica pressupõe que o julgamento coletivo é melhor do que a opinião de um só indivíduo.

O método consiste na formulação de um questionário, que é respondido por um grupo de peritos. Ao ser devolvido, suas respostas são tabuladas, analisadas e repassadas aos peritos para que estes o respondam novamente, orientados pela opinião do grupo. A caracterização de um Delphi só é completa quando ele atender às suas prerrogativas básicas: o anonimato dos respondentes, a representação estatística da distribuição dos resultados e das respostas.

Porém a metodologia não foi aplicada por receio de não se cumprir o cronograma de execução do projeto e a intenção inicial que era a de usar técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Sabe-se que nem todos os indicadores e parâmetros que caracterizam o estado atual do meio físico de uma bacia hidrográfica podem ser especificados em mapas, o que impossibilitaria em um primeiro momento o uso exclusivo de geoprocessamento. Sendo assim, o modelo proposto considerou apenas os dados físicos e cartográficos das bacias hidrográficas estudadas.

Por falta de tempo hábil, não pode-se aplicar a metodologia, visto que a metodologia depende da disponibilidade de vários pesquisadores em responder o questionário por quantas vezes for necessário até o consenso na implantação dos atributos (ou indicadores) capazes de revelar a situação real.

Por este motivo, vale ressaltar a importância do amadurecimento do modelo proposto neste trabalho. Um trabalho posterior poderá ser realizado, onde uma lista de 20 pesquisadores poderão ser convidados a responder o questionário a fim de desenvolver a melhoria do modelo proposto inicialmente nesta pesquisa.

7.3 Alternativas mitigadoras de uso e intervenções para a preservação e/ou recuperação da qualidade ambiental no município

A principal degradação encontrada nas bacias estudadas dizem respeito a erosões continentais. As principais práticas para conservação e o controle da erosão estão relacionadas a manutenção da cobertura da superfície do solo e o controle do escoamento superficial. No que diz respeito a área estudada, o cadastramento das erosões (anexo A) revelou a presença de erosões de pequeno a médio porte em áreas subjacentes ao núcleo urbano, provavelmente provocada pela acelerada velocidade da água advindas do sistema de drenagem urbano. Neste contexto, além da manutenção da vegetação nestas áreas, se faz necessário a implantação de obras de engenharia, tanto para contenção (bioengenharia de solos, implantação de biotêxteis, plantio interno com desvio pluvial, barragens de estabilização, reaterro com dreno de fundo) como para desaceleração da velocidade da água (canaleta, banquetas, escada de descida e dissipador, dreno simples, dreno tapete, dreno sumidouro) (MAGALHÃES, 2001). Para as pequenas erosões laminares presentes principalmente na área rural indica-se a implantação de terraceamento, curvas de nível, plantio alternado (ou rotacional), reforço de superfície e a canalização (ou drenagem, ou dissipação).

Sabe-se dos impactos que a urbanização e o plantio da cana-de açúcar ocasionam nos corpos d'água. Esses impactos foram registrados por Santim (2010) no Córrego Sem Nome no município de Ilha Solteira (SP). Para o controle da contaminação dos corpos d'água superficiais, faz-se necessário o acompanhamento da qualidade da água dos córregos, bem como a detecção de fontes poluidoras em toda a extensão do canal. Uma boa alternativa é o acompanhamento da qualidade da água por meio de modelos matemáticos, como o IQA (índice de qualidade da água) proposto pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). O ponto positivo deste modelo é a facilidade de se interpretar um único valor resultante de 9 parâmetros analisados, e também de se poder comparar o resultado no decorrer do tempo e com outros locais que fazem a mesma análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **O que é ser geógrafo**: memórias profissionais de Aziz Nacib Ab'Saber. Rio de Janeiro: Record, 2007.

AFFONSO, A. **Introdução ao Geoprocessamento e ao Sensoriamento Remoto**. Apostila da disciplina de Fotointerpretação e Sensoriamento Remoto. Universidade de Taubaté – UNITAU, 2002.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informação Geográficas**: Aplicações na agricultura. Platina: Embrapa, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Degradação do Solo**. NBR.10703. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. NBR.13030. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BOLLMANN, H. A.; STEINER, P. A.; RIBEIRO, S. R. A., NEVES, R. V. Relação entre a impermeabilização do solo e variáveis de qualidade das águas superficiais em bacias hidrográficas urbanas. IN: XIII Seminário de Iniciação Científica e VII Mostra de Pesquisa da PUCPR. nov 2005, Curitiba. **Anais...** Disponível em: <http://www.pucpr.br/pibic/arquivo/2005/evento/sic/CE11.html>. Acesso em 01 ago.2006.

BORGES, J.L.C. **Estudo de fragilidade e potencial de uso da paisagem e análise de capacidade de carga turística do parque nacional da Serra do Cipó - MG**. Belo Horizonte: UFMG - Instituto de Geociências, 2011. Dissertação de mestrado.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **LEI Nº 9.433**. Brasília: Presidência da República, 1997.

BRIGUENTI, E.C. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. Campinas/SP: UNICAMP, 2005. Dissertação de mestrado.

BRUM, R.S.; NEVES, C.S.; KIRINUS, E.P.; SANTOS, R.; EMMENDORFER, L.R. **Modelagem ambiental**: Perspectivas e contribuições. In: Revista junior de iniciação científica em ciências exatas e engenharia - ICCEEg. V.1. n.3. dezembro de 2011.p. 15-20.

CÂMARA, G. **Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C.B.; CASANOVA, M.A.; HERMELY, A.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas, Instituto de Computação/UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; MEDEIROS, J.S. **Representações computacionais do espaço**: Um diálogo entre a geografia e a ciência da informação. São José dos Campos: DPI/INPE, 2000. mimeo.

CARVALHO, S.M. **O diagnóstico físico-conservacionista (DFC) como subsídio à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR**. Presidente Prudente: UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2004. Tese de doutorado.

CETEC. **Mapa Geológico**. In: Relatório de situação de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Baixo Tietê. Lins (SP): Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (CBH-BT), 1999.

CÉZAR, F.R.G. **Avaliação da mata ciliar no município de Ilha Solteira/SP**. Sorocaba: UNESP, 2011. Trabalho de conclusão de curso.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ-FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (org). **A questão ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUNHA, L. H.; COELHO, M. C. N. Políticas e gestão ambiental. In.: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **A questão ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DANTAS, R. C. **Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Área Urbana de Ilha Solteira (SP)**, 2006.

DOMINGUES, A.F. **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos**. Brasília: MMA, ANA, 2012. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/acamara/altosestudios/arquivos/CamaradosDeputados22deagostode2012finalssimaSomenteleitura.pdf>>. Acesso em: 16 abr 2013.

FELGUEIRAS, C.A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica**: O paradigma geoestatístico por indicação. São José dos Campos: INPE, 2001. Tese de doutorado.

FELISBINO-SILVA, Josimar; RODRIGUES, Sílvio. **Recuperação e preservação ambiental da Área de Proteção Permanente da Bacia Hidrográfica do Córrego do Salto**. In: II simpósio Regional de Geografia “Perspectivas para o cerrado no século XXI”. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia, 2003.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. **Revisão estratigráfica da parte oriental da bacia Bauru (Neocretáceo)**. In: Revista Brasileira de Geociências. Curitiba (PR): UFPR, 2000. v.30. p. 717-728.

FERREIRA, C.C. **Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**: Processamento de Imagens Orbitais de Sensores Passivos (CCD e TM) e Ativos (SRTM) como subsidio para o gerenciamento da Bacia Hidrográfica das Pitangueiras/ SP. Três Lagoas/ MS: UFMS, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2002.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GONZAGA, M. L. **O uso de geotecnologias na análise da dinâmica ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Dom Tomaz – Três Lagoas/ MS**. Três Lagoas, MS: UFMS, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso.

GÜNTHER, W. M. R. Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. **São Paulo em Perspectiva**. v. 20, n. 2, abr./jun. 2006. p. 105-117.

ILHA SOLTEIRA. PLANO DIRETOR. **Lei Complementar 151**: Plano Diretor do Município de Ilha Solteira – SP. Ilha Solteira, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2010** - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados da Amostra do Censo Agropecuário 2004-2012**: IBGE Cid@des. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=352044>. Acesso em: 21 jan 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório nº 40.675**: Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (Relatório Final). São Paulo: IPT, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Spring Básico**: Tutorial 10 aulas. São José dos Campos (SP): INPE, 2006.

LIMA, T.F.M. **TerraME GIMS**: Uma interface gráfica para a descrição de modelos ambientais para a plataforma TerraME. Belo Horizonte: UFMG _ Instituto de Geociências, 2010. Dissertação de mestrado.

MAGALHÃES, R.A. Erosão: definições, tipos e formas de controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Goiânia: Labogef/UFG, 2001. p. 1-11.

MARQUES, J. F.; PEREIRA, L. C. **Valoração econômica dos efeitos da erosão: estudo de caso em bacias hidrográficas** . Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

MORAES, A.J. **Manual para avaliação da qualidade da água**. São Paulo: RIMA, 2001.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: UFC, 1981.

NARDY, A.J.R; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. **Geologia e estratigrafia da formação Serra Geral**. In.: Revista Geociências. v.21.n.1/2. Rio Claro (SP): UNESP, 2002. p.15-32.

OLIVEIRA, C.M.G.; RODRIGUES, R.A.; LOLLO, J.A. Soil collapse risk map for Ilha Solteira, Brazil. **IAEG 2006** - 10th IAEG International Congress. Nottingham, United Kingdom: The Geological Society of London, 2006. p. 1-9.

PORTO, M. F. A. ; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. [online]. 2008, vol.22, n.63, pp. 43-60. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004>. Acesso em: 05 abr 2012.

PRUSKY, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Minas Gerais: Ed. Do Autor, 2000.

ROSS, J. L. S. **Análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. São Paulo, Revista do Departamento de Geografia, 8:63-74, 1994.

RUDORFF, F. M. **Geoindicadores e análise espacial na avaliação de suscetibilidade costeira a perigos associados a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos**. Florianópolis-SC: UFSC, 2005. Dissertação de mestrado.

SANTIM, T.G.S. **Uso de geotecnologias na análise temporal dos impactos da urbanização na sub-bacia do córrego Sem Nome em Ilha Solteira/SP**. Ilha Solteira: UNESP, 2010. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, R.M. **Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara - PR**: Aplicação e estudo comparativo de três metodologias. Maringá (PR): UEM, 2009. Trabalho de conclusão de curso.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão da Prata**. São Paulo. Dissertação de Mestrado, Depto. Geografia, USP, 2001, 159p.

SPORL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. São Paulo: USP, 2007. Tese de doutorado.

SPORL, C.; ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. In: Revista GEOUSP - Espaço e Tempo. n.15. São Paulo: USP, 2004. p. 39-49.

TAVARES, A. B.; CRUZ, S. P.; LOLLO, J. A. Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 5, n. 2, 2008. p. 42-57

TAVARES, A.B. **Avaliação da Degradação do Meio Físico por Áreas de Empréstimo Utilizando Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas: Área de Expansão Urbana de Ilha Solteira (SP)**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2008. Dissertação de mestrado.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Revista Scientia Agrícola**. v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977, 91p.

TROPMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. 8 ed. Rio Claro: Divisa, 2008.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed. Porto Alegre: ABRH/EDUSP, 1995.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI. **Drenagem Urbana**. Revista eletrônica Ciência e Cultura, São Paulo, v.55, n.4, out./dez.. 2003. Disponível em: <http://cienciacultura.bvs.br/scielo>.

WESTPHALEN, F. **Fotogrametria e Fotointerpretação**. Santa Maria/ RS: Disciplina de Introdução à Geomática, UFSM, 2009.

ANEXOS

A. Artigo de cadastramento de erosões



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS
14 a 17 de maio de 2012
Rio Claro - SP

MAPEAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS NA ÁREA URBANA DA BACIA HIDROGRÁFICA DAS LAGOAS EM ILHA SOLTEIRA - SP- BRASIL

Ana Gabriela B. M. CARVALHO¹, Rafael M. SANTOS², Sérgio A. F. PINTO³

1. Bolsista CNPq, Doutoranda em Geografia, UNESP/Rio Claro, decarvalho.ag@gmail.com;
 2. Bolsista CNPq, Mestrando em Geografia, UNESP/Rio Claro, geografia.rafael@gmail.com.
 3. Professor titular do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Rio Claro, sanjos@rc.unesp.br

Resumo: O processo erosivo em áreas urbanas causa desequilíbrio ao meio ambiente e a sociedade, pois diminui as áreas produtivas rurais do entorno e causa danos as moradias e infraestrutura urbana. As principais causas do aparecimento das erosões urbanas são a abertura de novos loteamentos, a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, trapados inadequados do sistema viário e do sistema de drenagem. Este artigo teve por objetivo mapear as ocorrências de erosão urbana na bacia hidrográfica das Lagoas, grande receptora de cargas e energia da cidade de Ilha Solteira (SP).

Palavras-Chave: Processos erosivos; bacia hidrográfica urbana; mapeamento.

Abstract: The erosion in urban areas causes imbalance to the environment and society, because it reduces the productive areas of the rural environment and cause damage to housing and urban infrastructure. The main causes of the appearance of urban erosion are the opening of new subdivisions, the velocity of stormwater runoff, plotted inadequate road system and drainage system. This article aims to map the occurrence of urban erosion in the watershed das Lagoas, receiving large loads and energy of the city of Ilha Solteira (SP).

Keywords: Erosion, urban watershed, mapping.

1. Introdução

Segundo IPT (1986), erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas de solo ou rocha pela ação da gravidade combinada a ação da água, vento, gelo e organismos. Quando este processo é acelerado pelo desequilíbrio do uso do solo e pelas atividades humanas é chamada de erosão antrópica (SANTORO, 2009).

Para Almeida Filho et al (2001), a origem da erosão urbana está associada à falta de planejamento adequado, que considere as particularidades do meio físico, as condições

ISBN - 978-85-61203-18-4
CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS
 Rio Claro, 14 a 17 de maio de 2012

Página 1



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012
Rio Claro - SP

socioeconômicas e as tendências de desenvolvimento da área urbana. Essas erosões avançam agressivamente devido principalmente a abertura de novos loteamentos, a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, traçados inadequados do sistema viário e do sistema de drenagem (SANTORO, 2009). No Brasil, as primeiras ocorrências registradas de erosões urbanas expressivas foram identificadas nas regiões Sul e Sudeste, no Oeste de São Paulo e Noroeste do Paraná (ALMEIDA FILHO et al, 2001).

Este artigo é fruto de uma averiguação inicial in situ, sendo que foi a primeira etapa de um projeto maior de doutorado intitulado "Urbanização e Degradação Ambiental: Análise em Bacias Hidrográficas na cidade de Ilha Solteira (SP) com a utilização de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento".

2. Materiais e Métodos

Realizou-se um mapeamento inicial utilizando imagens obtidas no Google Earth (2006). Neste foram posicionados pontos de visita in loco que pudessem conter possíveis casos de erosão (final de canalização de sistema de drenagem e córregos urbanos). Em campo, procedeu-se a averiguação dos pontos pré-cadastrados. Os casos de erosões foram cadastradas por meio de fotografias digitais e pontos de GPS.

Em laboratório, esses pontos foram repassados para um banco de dados georelacional no software Global Mapper 12 e posteriormente finalizados no programa Corel Draw 13.

3. Caracterização da área de trabalho

O município de Ilha Solteira situa-se entre as coordenadas geográficas 20°16'00" e 20°41'40" de latitude sul e 51°01'14" e 51°26'41" de longitude oeste, no extremo noroeste do estado de São Paulo, Brasil (figura 1). Possui extensão territorial de 650 km² e população de 25.064 habitantes, sendo que 96% desta, 23.218 pessoas residem no centro urbano (IBGE, 2010). Possui características urbanísticas de cidade jardim, planejada em formato de um violão, com entornos bem arborizados por bosques e parques. Atualmente, é considerada uma estância turística pelo estado de São Paulo, fator que garante ao município verbas para a promoção do turismo regional.

A bacia hidrográfica das Lagoas é formada pelos Córrego do Ipê, Córrego das Lagoas e seus afluentes, que formam o Córrego Capula. A área foi escolhida devido ser de

Página 2



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012
Rio Claro - SP

interesse estratégico para o município de Ilha Solteira, por conviver com uma multiplicidade de interesses e receber grande parte das águas pluviais advindos do sistema de drenagem e do escoamento superficial urbano.

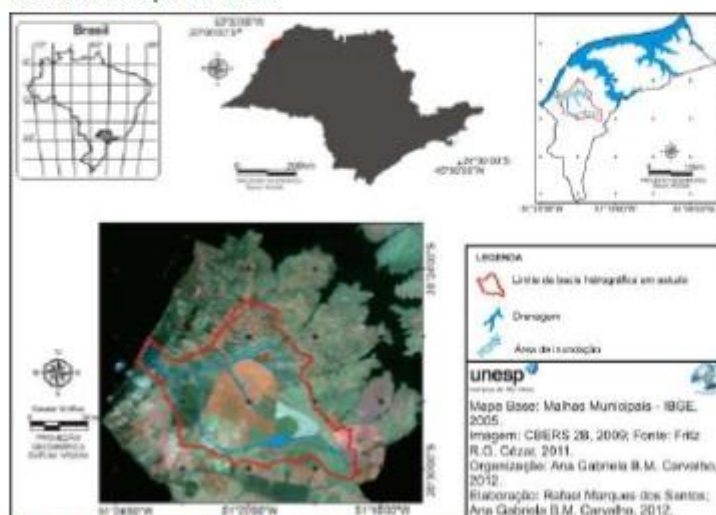


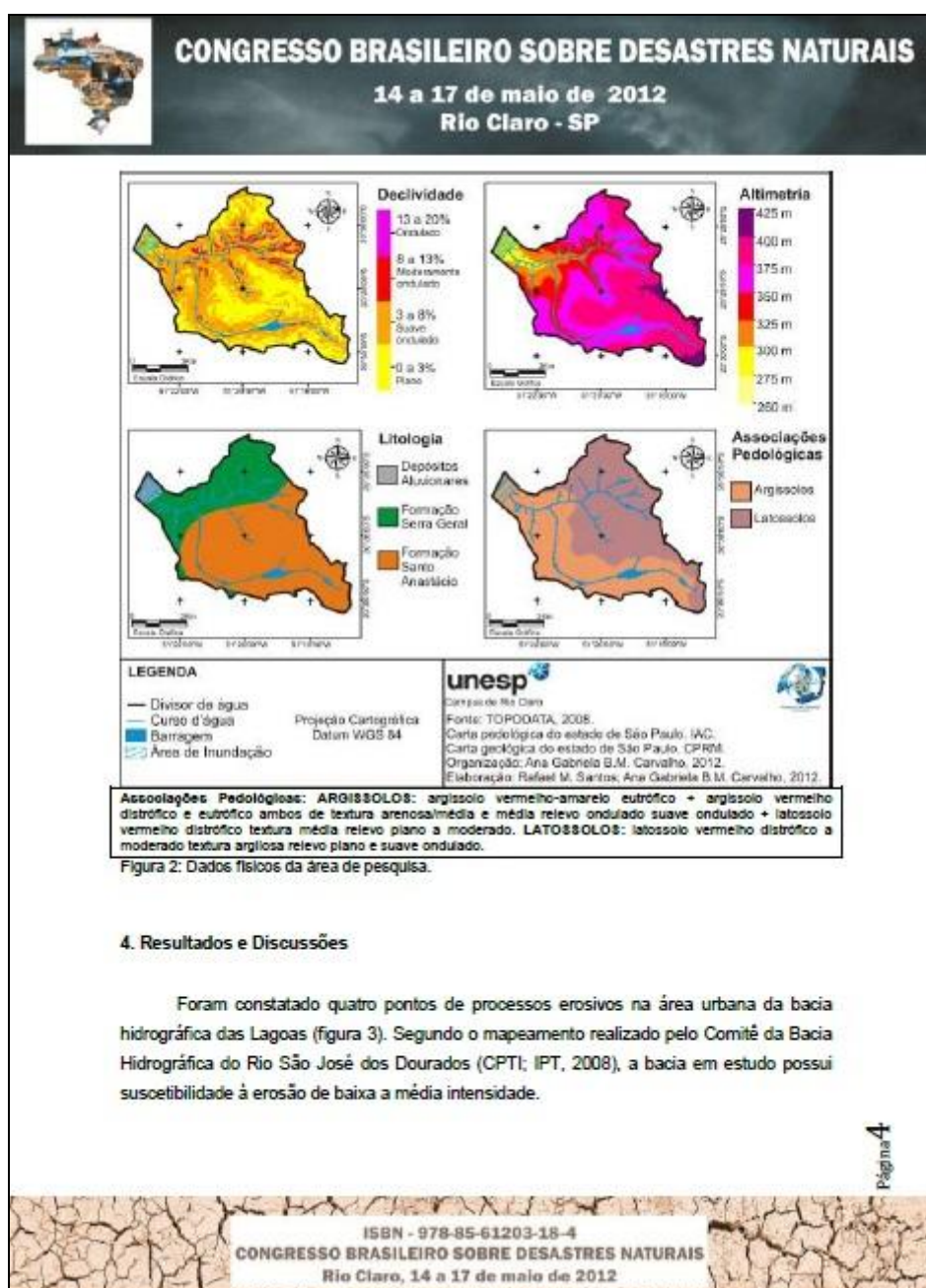
Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

A área de estudo está situada na unidade geomorfológica denominada planalto ocidental. É caracterizada por um relevo "monótono" levemente ondulado, com predomínio de colinas amplas a médias que apresenta declividades inferiores a 15%, amplitudes inferiores a 100 m e interflúvios extensos (CPTI; IPT, 2008). O relevo varia de plano a moderadamente ondulado com altimetria que varia entre 275 e 425 metros.

A geologia é formada em alto curso pela formação Santo Anastácio (estratos tabulares de arenitos de aspecto maciço, com espessura em geral decimétrica e raras intercalações de lamitos e argilitos), seguida pela formação Serra Geral (rochas ígneas basálticas). A fôz é formada por depósitos aluvionares (CPTI; IPT, 2008).

A pedologia é formada por latossolos no alto curso seguido de argissolos no médio e baixo curso (figura 2).

Página 3





CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012
Rio Claro - SP



Figura 3: Pontos de erosão cadastrados na Bacia Hidrográfica das Lagoas.

Os pontos 1, 2 e 3 são canais do sistema de drenagem urbana que possuem função de "córrego intermitente" para essas bacias hidrográficas urbanas. O ponto 4, situado no Córrego Sem Nome, afluente do Córrego Ipê é um córrego com nascentes localizadas na área urbana de Ilha Solteira e possui fluxo contínuo.

No ponto 1, observou-se a presença de uma grande erosão (aproximados 2 metros de profundidade e 4 metros de largura) após a galeria pluvial formada provavelmente pela força da água da chuva (figuras 4, 5, 6 e 7)


CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS
 14 a 17 de maio de 2012
 Rio Claro - SP



Figura 4: Visão da erosão frente a galeria pluvial.



Figura 5: Visão da erosão após a galeria pluvial.



Figura 6: Proximidades com uma residência. Nota-se a tela de proteção.



Figura 7: Obra de engenharia para a contenção da velocidade da água na saída da galeria pluvial.

O ponto dois é uma saída de água pluvial, que atravessa a parte inferior da rodovia, e alcança um dos córregos da pesquisa e localiza-se ao lado da "horta dos aposentados". As erosões neste ponto são de tamanho menor que as do ponto um, no entanto, a presença de entulhos demonstram a alta velocidade da água em períodos de chuva (figuras 8, 9, 10 e 11).



Figura 8: Entulhos presos as raízes das



Figura 9: Erosões no percorrer do canal.

ISBN - 978-85-61203-18-4
CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS
 Rio Claro, 14 a 17 de maio de 2012

Página 6



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

árvores. Indicador da força da enxurrada.



Figura 10: Outras formas de erosão no percurso do canal.



Figura 11: Presença de sedimentos ao final do percurso do canal. Saída da canalização para a rodovia.

O ponto três se localiza em um bairro residencial, área de expansão e de novos loteamentos. Neste ponto há presença de grandes erosões e em algumas áreas não há vegetação ciliar. Esta situação se agrava por posteriormente poder condenar moradias recém construídas (figuras 12, 13, 14 e 15).



Figura 12: Erosão na saída da canalização.



Figura 13: Obras para diminuir a velocidade da enxurrada após a canalização.



Figura 14: Casa em construção na



Figura 15: Construções na proximidade

Página 7



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012
Rio Claro - SP

proximidade das erosões.

da área de APP.

O ponto quatro situa-se no chamado "Córrego Sem Nome". Neste ponto, detectou-se além da presença das erosões, a presença da disposição de muito lixo e entulho de construção as margens do córrego (figuras 16, 17, 18 e 19).



Figura 16: Erosão na saída da canalização.



Figura 17: Depósito de lixo e entulhos de construção nas margens do canal.



Figura 18: Salda da canalização. Observa-se a quantidade de sedimentos ao fundo do vale.



Figura 19: Lixos entulhados as margens do canal. Ao fundo, a presença de grandes erosões.

5. Considerações Finais

As averiguações em campo possibilitaram a constatação os processos erosivos em estágio avançado nos pontos mapeados. Este mapeamento será importante para a pesquisa pois fornecerá subsídios para "teste" da metodologia do projeto de pesquisa a qual ele está inserido.

8
Página



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

Constatou-se que as erosões foram formadas por inadequado sistema de drenagem urbano municipal. A maior velocidade de escoamento superficial urbano consequência da impermeabilização do solo e falta de áreas de infiltração, somado a inexistência de vegetação ciliar em alguns pontos acarretou a aceleração desses processos erosivos.

Faz-se necessário um plano urgente de recuperação destas áreas, principalmente nos pontos 1 e 3 que possuem alto risco de desmoronamento de residências próximas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado à autora (Processo nº [152491/2010-4](#))

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G. S.; GOUVEIA, M. I. F.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; CANIL, K. Prevenção e controle da erosão urbana no estado de São Paulo. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. João Pessoa/PB: ABES, 2001.

COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (CPTI); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Relatório Técnico nº 295/07: Elaboração de mapa de feições erosivas urbanas e rurais da Bacia do rio São José dos Dourados. São Paulo: CPTI/IPT, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pelxe - Paranapanema. São Paulo: IPT, Relatório 24 739, 1986.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 53-70.

