



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**LUCIANO MELO COUTINHO**

**IMPACTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE  
SOBRE A EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO DA PRATA, CASTELO-ES**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES  
SETEMBRO - 2010

LUCIANO MELO COUTINHO

**IMPACTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE  
SOBRE A EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO DA PRATA, CASTELO-ES**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Espírito  
Santo, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Florestais, para obtenção  
do título de Mestre em Ciências  
Florestais na área de concentração  
Sensoriamento Remoto e Manejo de  
Bacias Hidrográficas.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Roberto Avelino Cecílio  
Co-Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia

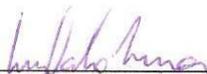
JERÔNIMO MONTEIRO - ES  
SETEMBRO - 2010

# IMPACTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE SOBRE A EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DA PRATA, CASTELO - ES

**Luciano Melo Coutinho**

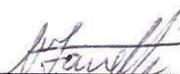
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 08 Setembro de 2010.



---

Prof. Dr. Michel Castro Moreira  
ICADS/UFBA



---

Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti  
UFES/CEUNES



---

Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier  
UFES/CCA



---

Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia  
UFES/CCA

---

Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio  
UFES/CCA (Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelas oportunidades concedidas.

Aos meus pais; Antônio Expedito Coutinho e Rosângela Melo Coutinho, a minha esposa; Sônia Maria Maciel, e aos meus filhos; Letícia Maciel Coutinho e Lucas Maciel Coutinho, pela compreensão e apoio em todos os momentos.

Ao Profº. Dr. Roberto Avelino Cecílio, meu orientador, pela confiança depositada, por compartilhar de seus valiosos conhecimentos e pelo tempo e empenho dedicados ao desenvolvimento deste trabalho.

A empresa FIBRIA (Aracruz Celulose), cujo patrocínio permitiu o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

Ao Profº. Dr. Tony Vinicius Moreira Sampaio, hoje docente da Universidade Federal do Paraná, pois foi graças a ele que iniciei a caminhada pelo conhecimento científico.

Aos docentes e colegas de curso.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, prestaram sua contribuição e incentivo para conclusão deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

LUCIANO MELO COUTINHO, filho de Antônio Expedito Coutinho e Rosângela Melo Coutinho, nasceu em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, em 27 de outubro de 1974.

Concluiu o segundo grau (Técnico em Contabilidade) em 1995, no Colégio Ateneu Cachoeirense, em Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Em fevereiro de 2003, ingressou no Centro Universitário São Camilo - Espírito Santo, onde iniciou o curso de Licenciatura Plena em Geografia, concluindo-o em dezembro de 2006.

Em fevereiro de 2007, iniciou o curso de especialização em MBA em Gestão Ambiental, no Centro Universitário São Camilo - Espírito Santo, concluindo-o em fevereiro de 2009.

Em julho de 2008, iniciou o curso de mestrado em Ciências Florestais, na área de concentração Manejo de Bacias Hidrográficas e Sensoriamento Remoto, na Universidade Federal do Espírito Santo – Alegre, concluindo-o em setembro de 2010.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Valores de erosividade (fator K) para bacia da Prata.....	50
Tabela 2-	Valores de erosividade pelo uso do solo (fator C) para bacia da Prata.....	51
Tabela 3-	Valores de área e altitude da bacia da Prata a partir de diferentes bases de dados altimétricos e interpoladores.....	53
Tabela 4-	Cruzamento de hidrografia mapeada com hidrografia numérica.....	66
Tabela 5-	Distribuição espacial das classes de uso do solo da bacia da Prata.....	68
Tabela 6-	Valores de áreas de APP da bacia da Prata.....	69
Tabela 7-	Comportamento do fator C com base no somatório das classes de uso do solo e área de preservação da bacia da Prata.....	72
Tabela 8-	Parâmetros estatísticos dos mapas de erosão da bacia da Prata.....	73
Tabela 9-	Comportamento das classes de erosão da bacia da Prata.....	76
Tabela 10-	Médias de erosão por tipos de solo.....	77
Tabela 11-	Médias de erosão em APP.....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Esquema de representação do Ciclo Hidrológico.....	4
Figura 2-	Representação do divisor topográfico de uma bacia hidrográfica.....	6
Figura 3-	Procedimentos de delimitação manual de uma bacia hidrográfica em carta topográfica.....	9
Figura 4-	Delimitação de APP pela identificação do terço superior de uma elevação.....	13
Figura 5-	Identificação de APP em conformidade com os recursos hídricos.....	14
Figura 6-	Identificação de APP conforme a declividade do relevo.....	16
Figura 7-	Arquitetura dos SIG's.....	22
Figura 8-	Formato vetorial e matricial de dados de SIG's.....	23
Figura 9-	Interação de dados de SIG's de formato vetorial e matricial.....	23
Figura 10-	Representação de correção geométrica de imagem digital, por carta topográfica, em SIG.....	24
Figura 11-	Representação de MDE por níveis de cinza e sombreamento..	25
Figura 12-	Representação de TIN a partir de pontos e linhas.....	27
Figura 13-	Representação matricial do relevo em SIG.....	28
Figura 14-	Princípio do preenchimento das espúrias de um MDE.....	29
Figura 15-	Representação da identificação da direção do escoamento superficial.....	29
Figura 16-	Representação da identificação de fluxo acumulado e da rede de drenagem.....	30

Figura 17-	Princípios de mapeamento de distância a partir de dado vetorial em SIG.....	31
Figura 18-	Fundamentos de sobreposição de mapas matriciais em SIG...	33
Figura 19-	Localização da área de estudos.....	37
Figura 20-	Procedimentos para mapeamento de uso e o ocupação do solo.....	39
Figura 21-	Diversidade de coberturas e formas de uso do solo identificados pelas aerofotos.....	40
Figura 22-	Procedimentos adotados para geração do mapa de solos.....	42
Figura 23-	Mapa de solos da bacia da Prata.....	42
Figura 24-	Procedimentos adotados para delimitação de APP.....	49
Figura 25-	Procedimentos adotados para geração dos mapas e estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na bacia da Prata.....	52
Figura 26-	Comparação visual das delimitações e das hidrografias geradas pela carta, com as geradas por MDE.....	56
Figura 27-	Comparação visual da localização da foz gerada pela carta, com as geradas por MDE.....	57
Figura 28-	Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TIN a partir de dados de mapeamento.....	59
Figura 29-	Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TR a partir de dados de mapeamento.....	60
Figura 30-	Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TRHD a partir de dados de mapeamento.....	61
Figura 31-	Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de original de dados de radar.	62
Figura 32-	Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de TIN de dados de radar.....	63

Figura 33- Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de TR de dados de radar.....	64
Figura 34- Mapa de uso e ocupação do solo da bacia da Prata.....	68
Figura 35- Mapa de áreas de preservação permanente da bacia da Prata.....	70
Figura 36- Comportamento das formas de uso e ocupação do solo.....	71
Figura 37- Mapa de erosão real da bacia da Prata.....	74
Figura 38- Mapa de erosão com adoção de APP da bacia da Prata.....	74
Figura 39- Comparativo de erosão do uso real e da adoção de APP na bacia da Prata.....	75

## CONTEÚDOS

RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	4
2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	6
2.2.1. Delimitação de Bacias.....	7
2.2.1.1. Delimitação manual de bacias hidrográficas.....	9
2.2.1.2. Delimitação automática de bacias hidrográficas.....	10
2.3. MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	10
2.4. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	10
2.5. EROSÃO DO SOLO.....	15
2.5.1. Equação Universal de Perdas de Solos.....	17
2.6. GEOPROCESSAMENTO APLICADO EM ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	21
2.6.1. Geoprocessamento.....	21
2.6.1.1. Representação de dados de geoprocessamento.....	22
2.6.1.2. Imagens de sensoriamento remoto.....	23
2.6.1.3. Modelagem do terreno.....	24

2.6.2.	Aplicações de geoprocessamento em estudos de bacias hidrográficas.....	28
2.6.2.1.	Identificação automática de fatores topográficos.....	28
2.6.2.3.	Delimitação de áreas de preservação permanente em bacias hidrográficas.....	30
2.6.2.4.	Estimação da erosão em bacias hidrográficas.....	32
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1.	ÁREA EM ESTUDO.....	35
3.1.1.	Histórico.....	35
3.1.2.	Localização e caracterização.....	36
3.2.	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E BASES DE DADOS UTILIZADAS.....	38
3.2.1.	Base de dados planialtimétricos.....	38
3.2.2.	Base de dados referentes ao uso do solo.....	38
3.2.3.	Base de dados referentes aos solos.....	41
3.3.	DELIMITAÇÃO DA BHRP A PARTIR DO USO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO.....	42
3.3.1.	Delimitação manual a partir de curvas de nível do IBGE, com suporte de aerofotos (delimitação padrão – D1).....	43
3.3.2.	Delimitação automática a partir MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por TIN (D2).....	43
3.3.3.	Delimitação automática a partir do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, sem suporte de hidrografia (D3).....	44

3.3.4.	Delimitação automática a partir do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (D4).....	45
3.3.5.	Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM base SRTM original (D5).....	45
3.3.6.	Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por TIN (D6).....	45
3.3.7.	Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por interpolador “Topo to Raster” (D7).....	46
3.4.	AVALIAÇÃO DAS DELIMITAÇÕES DA BHRP REALIZADAS.....	46
3.4.1.	Valores de altimetria.....	47
3.4.2.	Análise visual do traçado dos divisores de água.....	47
3.4.3.	Cruzamento das hidrografias.....	47
3.5.	DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	48
3.6.	ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DA PRATA.....	49
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>53</b>
4.1.	AVALIAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DA BHRP FEITA A PARTIR DO USO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO.....	53
4.1.1.	Análise dos valores de altimetria .....	53
4.1.2.	Análise visual dos divisores topográfico.....	55
4.1.3.	Análise do cruzamento de redes de drenagem.....	65
4.1.4.	Considerações.....	66

4.2-	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	67
4.3-	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	69
4.4-	SIMULAÇÕES DE PERDAS DE SOLO.....	72
5-	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
6-	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>

## RESUMO

COUTINHO, Luciano Melo. M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Setembro de 2010. **Impacto das Áreas de Preservação Permanente sobre a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo-ES.** Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Conselheiros: Alexandre Cândido Xavier e Giovanni de Oliveira Garcia.

A bacia hidrográfica consiste na principal unidade de gestão de recursos hídricos, pois seu comportamento hidrológico condiciona a ocorrência e magnitude da erosão hídrica. Modelos de simulação hidrológica, que permitem estimar o comportamento hidrológico e a erosão hídrica, consistem em importante ferramenta de gestão para minimizar a degradação ambiental nestas unidades territoriais. As Áreas de Preservação Permanente (APP) são delimitadas para proteção dos recursos naturais pelo adensamento da vegetação. Objetivou-se, no presente trabalho, desenvolver, na bacia da Prata (Castelo-ES), estudos do relevo (pautados em diferentes fontes de dados altimétricos e procedimentos de interpolação) e quantificação da erosão anual (sob diferentes cenários de uso do solo). Para tanto, foram trabalhados, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, os dados de relevo (carta topográfica e imagens de radar) e de uso do solo (aerofotos), os quais permitiram a manipulação de dados e a geração dos fatores de interesse diante os procedimentos propostos, sendo: a) avaliar a delimitação da bacia da Prata a partir de diferentes modelos digitais de elevação; b) classificar as formas de cobertura natural e de uso e ocupação do solo; c) delimitar as áreas consideradas como APP's; e d) aplicar da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) nos cenários de ocupação do solo e ocupação com respeito às APP's. A delimitação manual, gerada por intermédio de carta topográfica de Castelo-ES, e a interpolação de isolinhas pelo interpolador "Topo to Raster", com suporte de hidrografia consistiram, respectivamente, no método de delimitação e interpolador de melhor desempenho na delimitação da bacia, sendo, portanto, as alternativas adotadas para os estudos subseqüentes. As principais características físicas da bacia do rio da Prata são área de drenagem de 132,28 km<sup>2</sup>, altitude média 593m e declividade média 39,77%. As pastagens são a principal forma de uso do solo na bacia, pasto limpo (24,01%) e pasto sujo (6,62%), seguido das culturas permanentes (27,26%). A porção correspondente à APP equivale a 55,48% da bacia (73,39 km<sup>2</sup>). Os valores médios de erosão anual são de 85,43 ton/ha/ano pelo uso real do solo e de 27,50 ton/ha/ano quando da adoção de APP, diferença de 32,20%.

**Palavras chave:** solo, recursos hídricos, erosão, relevo, modelo digital de elevação, divisor topográfico.

## ABSTRACT

COUTINHO, Luciano Melo. M.Sc., Federal University of Espírito Santo, September 2010. **Impact of Permanent Preservation Areas on water erosion in the watershed of River Silver, Castelo-ES.** Leader: Roberto Avelino Cecílio. Councillors: Alexandre Cândido Xavier e Giovanni de Oliveira Garcia

A watershed is the primary unit of water resource management, because their behavior affects the hydrological occurrence and magnitude of water erosion. Hydrologic simulation models, which allow to estimate the hydrology and water erosion, consisting of important management tool to minimize environmental degradation in these units. The Permanent Preservation Areas (PPA) are defined for protection of natural resources by density of vegetation. The aim of the present work was undertaken, in Silver Basin (Castelo – ES) studies relief (guided by different sources of elevation data and interpolation procedures) and quantification of the annual erosion (under different scenarios of land use). This end, we worked in an environment of Geographic Information Systems, data relief (topographic maps and radar images) and land use (aerial photography), which allowed the manipulation of data and generation of factors of interest on the proposed procedures, and: a) evaluate the delimitation of the Silver Bowl from different digital elevation models; b) classify the forms of natural cover and use and land cover; c) delimit the areas considered as PPA; d) apply Universal Soil Loss Equation (USLE) the scenarios of land use and occupancy with respect to PPA. The delineation manual, generated by the topographical map of Castelo-ES and interpolation by interpolating isolines “Topo to Raster”, supported consisted hydrography, respectively, the method delimitation and interpolating the best performance the delimitation of basin, therefore, alternatives adopted for subsequent studies. The main physical characteristics of the River Plate basin are drainage area 132.28 Km<sup>2</sup>, average elevation 593m and mean slope 39.77%. Pastures are the main form of land use in the basin, clean pasture (24.01%) and dirty pasture (6.62%), followed by permanent crops (27.26%). The portion corresponding to PPA equivalent to 55.48% of the basin (73.39 km<sup>2</sup>). The average annual erosion are 85.43 ton/ha/ year actual use of soil and 27.50 ton/ha/ year when adopting PPA, difference of 32.20%.

**Keywords:** soil, water resources, erosion, relief, digital elevation model, topographic divide.

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que, nos dias atuais, a preocupação com o desenvolvimento econômico não é, em grande parte dos casos, acompanhada da preocupação ambiental. Tal fato pode ser verificado pelos constantes impactos ambientais negativos advindos da ocupação desordenada do solo e pelo uso inadequado da água, resultando em processos erosivos intensos, poluição da água e contaminação dos recursos naturais, dentre outros (SILVA et al., 2007).

Diante tal situação, são crescentes os estudos do meio natural com base na gestão territorial com vistas à redução de impactos ambientais e uso sustentável dos recursos naturais. A legislação brasileira estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para o desenvolvimento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433/97. Estas consistem em unidades ideais para o planejamento e gerenciamento das atividades humanas em determinado território, pois apresentam as vantagens de serem sistemas naturalmente delimitados e possibilitarem trabalhos em várias escalas, desde grandes rios que atravessam fronteiras políticas, até pequenos riachos de propriedades rurais.

Em bacias hidrográficas, o aporte da água proveniente das precipitações desencadeia uma série de processos internos, sendo os principais a infiltração, o armazenamento superficial e subsuperficial no solo, escoamento superficial, deflúvio, intemperismo e processos erosivos, os quais interagem constantemente entre si (SILVEIRA, 2004).

Processos hidrológicos dinâmicos em bacias podem sofrer modificações significativas em decorrência de atividades antrópicas, como modificações na ocupação das terras, desmatamento, expansão da agropecuária e urbanização intensiva. Estas atividades modificam a dinâmica hidrológica devido às alterações nas características de cobertura e perfil do solo, podendo ocasionar prejuízos diversos como erosão, assoreamento e enchentes.

Os processos erosivos são marcados pelo desprendimento e arraste das partículas de solo, sendo a água e o vento seus principais causadores. O empobrecimento estrutural acelerado e a desvalorização econômica das terras

são apontados como as principais conseqüências da erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

Vários fatores podem ser afetados pela erosão, o que, em muitos casos, torna difícil estipular a magnitude dos problemas relacionados, pois estes não se limitam ao meio natural, mas se expandem à esfera socioeconômica. Segundo Rosa (2000), apud Telles e Guimarães (2009), aproximadamente 10% da superfície terrestre, 1,5 bilhões de hectares, estão irreversivelmente degradados pela erosão, ocorrida em função do uso e manejo inadequados do solo. De acordo com o *United Nations Environmental Program*, grandes áreas de terras cultivadas ainda podem se tornar economicamente inviáveis ou improdutivas, se a erosão não se mantiver em níveis toleráveis (HIGGITT, 1991).

Para o Brasil, Hernani et al. (2002) mostram que, em áreas ocupadas por lavouras e pastagens, as perdas anuais de solo e água são de 822,7 milhões de toneladas e 171 bilhões de m<sup>3</sup>, respectivamente. Os autores ainda estimaram que a erosão ocasiona um prejuízo, no âmbito da propriedade rural, de US\$ 2,9 bilhões por ano, relativo aos custos relativos à reposição por corretivos e fertilizantes, somados às perdas referentes à menor produtividade e aos maiores custos de produção. Além destes prejuízos, os custos externos à propriedade rural que são decorrentes do processo erosivo (tratamento de água para o consumo humano, manutenção de estradas, maior consumo de combustíveis, maior consumo de energia elétrica em áreas irrigadas) somam outros US\$ 1,3 bilhões. Assim, estima-se que a erosão promove um total de US\$ 4,2 bilhões de prejuízo anual ao Brasil.

Para fins de desenvolvimento sustentável e preservação dos recursos naturais, são adotadas áreas de proteção ou preservação, delimitadas por critérios específicos. Estas áreas têm por objetivo preservar a vegetação, para que suas funções ambientais sejam efetivamente exercidas, protegendo os recursos naturais contra as possíveis alterações de ordem física, química e biológica, sejam estas naturais ou decorrentes da ação antrópica (RIBEIRO et al., 2005; PINHEIRO & CABRAL, 2007; STEMPNIAK et al., 2009).

O Código Florestal Brasileiro (Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965) define áreas especiais de proteção ambiental, denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP), com base em critérios de áreas marginais dos

canais e nascentes, na identificação de topos de morros e áreas de declividade acentuada. Os critérios para identificação de APP's são detalhados pela Resolução nº 303 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 30 de março de 2002.

A adoção de APP's tem como principal objetivo formar áreas constantemente vegetadas, a fim de contribuir para a proteção do solo contra agentes erosivos, além da manutenção e recuperação da qualidade dos recursos hídricos, o que as torna elemento de fundamental importância para o manejo de bacias hidrográficas (RIBEIRO et al., 2009).

A bacia hidrográfica do rio da Prata (BHRP), localizada no Sul do Espírito Santo, é marcada por diversidade paisagística natural, devido aos fatores como relevo, litologia e cobertura vegetal, e pela diversidade de atividades agropecuárias, o que inclui culturas permanentes e temporárias, pastagens e silvicultura. Esta bacia hidrográfica se localiza no Município de Castelo - ES, cujo processo histórico e ocupacional é marcado pela migração européia, e sua adaptabilidade se deve ao desenvolvimento de atividades agropecuárias, muitas vezes em áreas que deveriam ser destinadas à preservação.

No contexto atual, verifica-se no Município de Castelo o desenvolvimento de atividades alternativas com suporte na agropecuária, a exemplo da agroindústria e do agroturismo (VICENTE et al., 2005), fatores estes de potencial risco de intensificação de ocorrência de erosão por alterar as características naturais da superfície.

Do exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral estimar o impacto que às Áreas de Preservação Permanente exercem sobre a erosão na bacia hidrográfica do Rio da Prata (BHRP).

Objetivos específicos do trabalho da BHRP consistiram em:

- a) Avaliar a delimitação da BHRP feita a partir do uso de diferentes modelos digitais de elevação;
- b) Classificar as formas de cobertura natural e de uso e ocupação do solo;
- c) Delimitar as áreas consideradas como APP's; e
- d) Aplicar da Equação Universal de Perdas de Solos sob diferentes cenários de ocupação do solo (ocupação real do solo e ocupação com respeito às APP's, previstas pelo Código Florestal Brasileiro).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CICLO HIDROLÓGICO

Para melhor compreensão do percurso da água no interior de uma bacia hidrográfica, faz-se necessário recorrer ao conceito do ciclo hidrológico. Entende-se que o termo “ciclo” é utilizado para caracterizar uma constante ciclagem da água dentro do Sistema Terra (PRESS, et al. 2006).

A Figura 1 representa os percursos da água no ciclo hidrológico. A ação da precipitação sobre a superfície terrestre é caracterizada por uma sequência de processos, decorrentes do tipo de cobertura da superfície, a qual pode ser cobertura vegetal, solo exposto, rochas, edificações, pavimentação e demais ocorrências hídricas, sejam estas permanentes ou temporárias, naturais ou antrópicas.

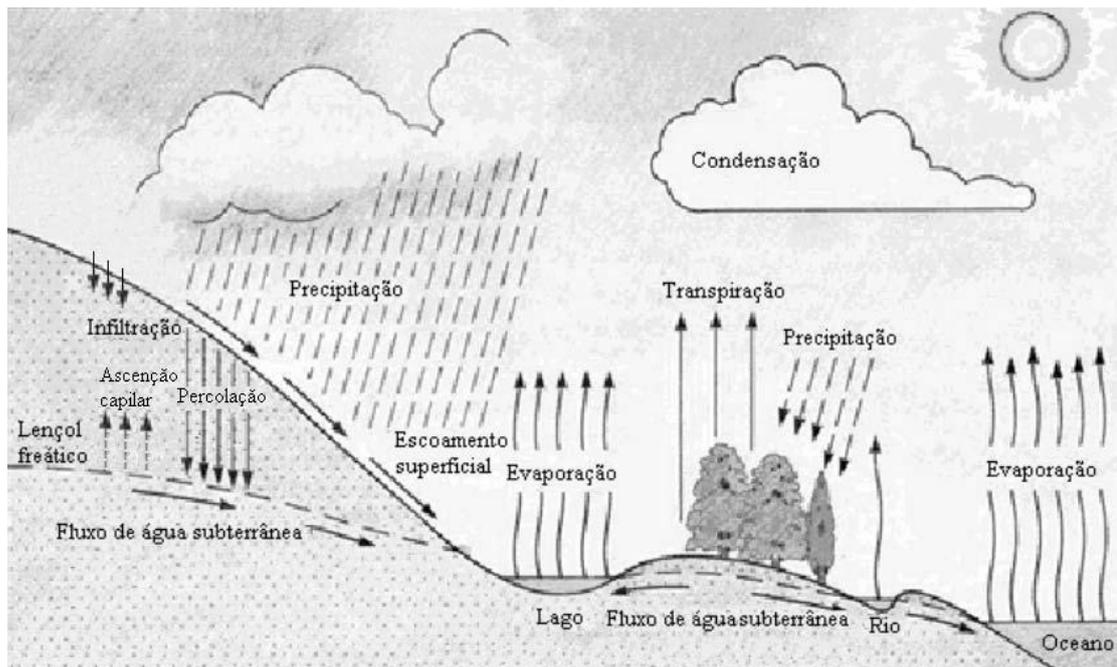


Figura 1 - Esquema de representação do Ciclo Hidrológico (SILVA, 2002).

De acordo com Silveira (2004) o ciclo hidrológico é descrito a partir das seguintes etapas:

- A água que se encontra na atmosfera se condensa diante determinadas condições meteorológicas, formando microgotículas, que são mantidas em suspensão por turbulência natural.

- A formação das nuvens se inicia a partir do agrupamento destas microgotículas, adicionadas de poeira e gelo, formando um aerosol, chamado nuvem ou nevoeiro quando formados próximos a superfície.
- A precipitação destas nuvens, principal forma de transferência de água para a superfície, ocorre pela dinâmica das massas de ar.
- Associadas aos movimentos de massas de ar, ocorrem os fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, cujo ganho de peso favorece que a ação gravitacional da superfície supere a turbulência ou ascendência da atmosfera. Parte da água precipitada sofre evaporação desde o trajeto em direção a superfície.
- Ao cair sobre a cobertura vegetal, parte da água precipitada é interceptada e armazenada em suas folhas e caules, se evaporando posteriormente.
- A volume de água que atinge diretamente o solo está sujeita aos processos de infiltração, transpiração, abastecimento do aporte subterrâneo e escoamento superficial.
- A infiltração é o processo de preenchimento dos poros dos solos pela água, ocasionada por tensão capilar e gravidade, a qual diminui da superfície para as maiores profundidades.
- O processo de transpiração é ocasionado pelo aproveitamento da umidade do solo pelos vegetais, os quais absorvem a água pelas raízes e a devolvem a atmosfera na forma de vapor de água.
- O escoamento de superfície é ocasionado pela ação da gravidade, em que a água é impulsionada para as cotas mais baixas, formando pequenos filetes de água que se moldam ao microrelevo do solo. Os microfiletes ocasionam erosão de partículas em seu trajeto, moldando uma microrede de drenagem que converge para os cursos d'água mais estáveis, formada por arroios e rios.
- A água escoada pelas redes de drenagem mais estáveis, em sua grande maioria, chega aos oceanos, onde a circulação de águas se deve a uma combinação de fenômenos físicos e meteorológicos de grande variabilidade.
- Em todas as etapas de circulação da água na superfície terrestre ocorre evaporação, seja total ou de parte do volume, fenômeno que fecha o ciclo hidrológico.

## 2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS

Entende-se por bacia hidrográfica (Figura 2) uma área delimitada topograficamente pelo divisor de águas, drenada por um curso d'água, ou um sistema interconectado de cursos d'água, formando um sistema no qual toda vazão é descarregada por uma única saída, denominada foz ou exutório (VILELLA & MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA & GUERRA, 2003; RODRIGUES & ADAMI, 2005; SILVA et al. 2007; FITZ, 2008; LIMA, 2008).

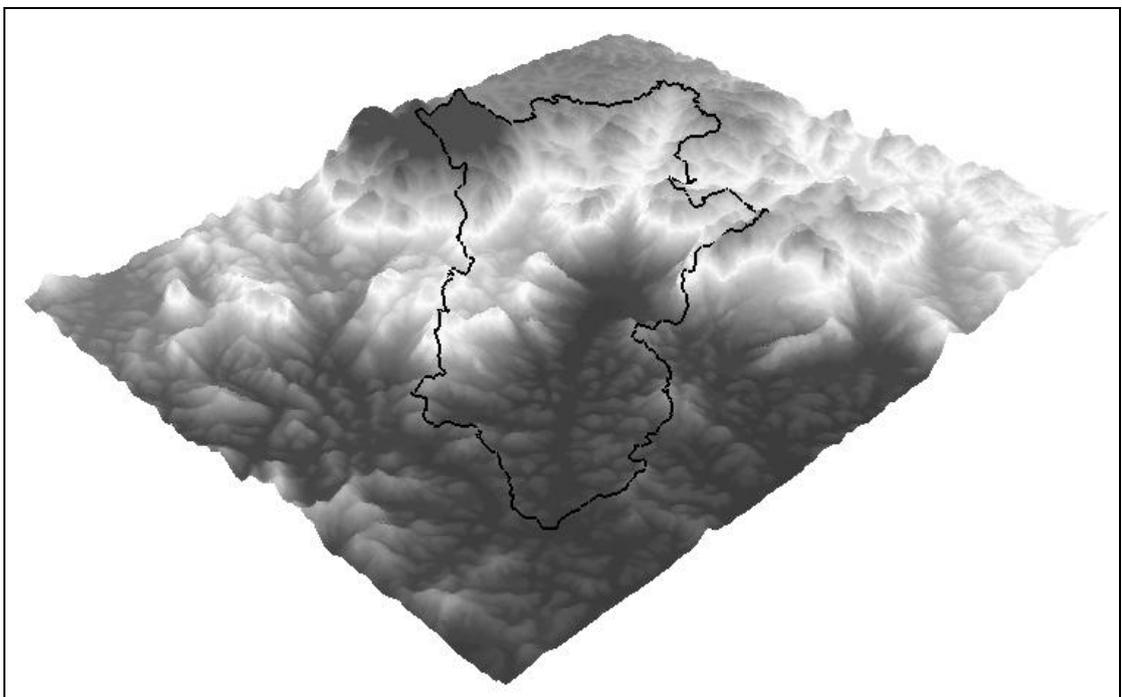


Figura 2 - Representação do divisor topográfico de uma bacia hidrográfica.

De acordo com Rodrigues e Adami (2005), deve-se atentar a necessidade de definição conceitual precisa para tal sistema, devido a sua abrangência de cunho hidrológico e geomorfológico, seguido de métodos e critérios que garantam uma delimitação precisa, pois esta deve definir os limites, internos e externos, em função da diversidade de processos que se relacionam direta e indiretamente a estes sistemas. Estes autores consideram como erros a simples definição de bacia como área e o uso de representações gráficas que limitam a bacia a uma visão bidimensional.

“Tomando cuidado para não incorrer em tais equívocos, é possível definir bacia hidrográfica como um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos a superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais (RODRIGUES & ADAMI; 2005)”.

Do ponto de vista ambiental, os principais componentes de uma bacia são a água, o solo, a vegetação e fauna, elementos de constante interação neste sistema, os quais respondem de diversas formas às interferências (naturais e antrópicas) ocorridas. Por este motivo, consolida-se a tomada da bacia hidrográfica como compartimento geográfico coerente para planejamento de uso do solo e conservação dos recursos naturais (RODRIGUES & ADAMI, 2005; LIMA, 2008; VILAÇA et al., 2009).

#### 2.2.1. Delimitação de Bacias Hidrográficas

A delimitação correta dos divisores de água é de grande importância para estudos de bacias hidrográficas ligados à modelagem hidrológica, pois apenas com uma boa descrição desta unidade podem-se conseguir estimativas confiáveis e consistentes das variáveis hidrológicas.

Existe grande diversidade de procedimentos de identificação e delimitação de bacias hidrográficas, os quais podem ser divididos em manuais ou automáticos. Os manuais contam com a ação direta do pesquisador e podem ser realizados em meio analógico e/ou digital. Os automáticos são realizados por meio de *softwares* que identificam os divisores de águas a partir de uma representação da topografia do terreno (VILELLA & MATTOS, 1975; TORRES et al. 2006; SANTOS, 2007).

##### 2.2.1.1. Delimitação manual de bacias hidrográficas

O método de delimitação manual consiste em identificar visualmente, por meio de cartas topográficas que contenham curvas de nível, os divisores de

águas. O divisor de águas é entendido como uma linha imaginária que separa duas bacias e que liga as maiores altitudes do relevo, formando a linha de cumeada ou de crista (FITZ, 2008). De acordo com o Art. 2º-VIII da Resolução CONAMA nº 303 de 2002, define-se como divisor de águas ou linha de cumeada “linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas”.

Além das curvas de nível, podem ser utilizadas imagens de sensoriamento remoto (aerofotos ou imagens de satélites) para o auxílio na tomada de decisão referente a ajustes na delimitação, pois apenas o uso das curvas de nível pode ocasionar apontamentos errôneos no traçado do divisor, principalmente em áreas planas, em que verificam-se maiores distâncias entre as curvas de nível do terreno (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

De acordo com COUTINHO & CECÍLIO (2010), a delimitação manual de bacias consiste, resumidamente, das etapas descritas a seguir e ilustradas na Figura 3:

- a) A carta pode ter sinais de desgaste que podem dificultar a identificação das representações (figura 3a). Neste caso é necessária a identificação nítida da rede de drenagem (figura 3b);
- b) Identificação da seção de interesse ou foz (triângulo da figura 3b), onde se inicia a delimitação, e dos pontos com maiores cotas ao redor da rede de drenagem (pontos da figura 3b);
- c) Diferenciação de *feições cartográficas côncavas* (indicativo do divisor por dispersão do fluxo ou linha de cumeada) de *feições cartográficas convexas* (indicativo de interflúvio por concentração do fluxo ou vale);
- d) Traçado de linha interligando os topos de morros, pelos quais passa a linha de cumeada, para identificação nítida do divisor topográfico, respeitando os canais da bacia vizinha (figura 3c); e
- e) Fechamento da linha poligonal no ponto inicial (figura 3d).

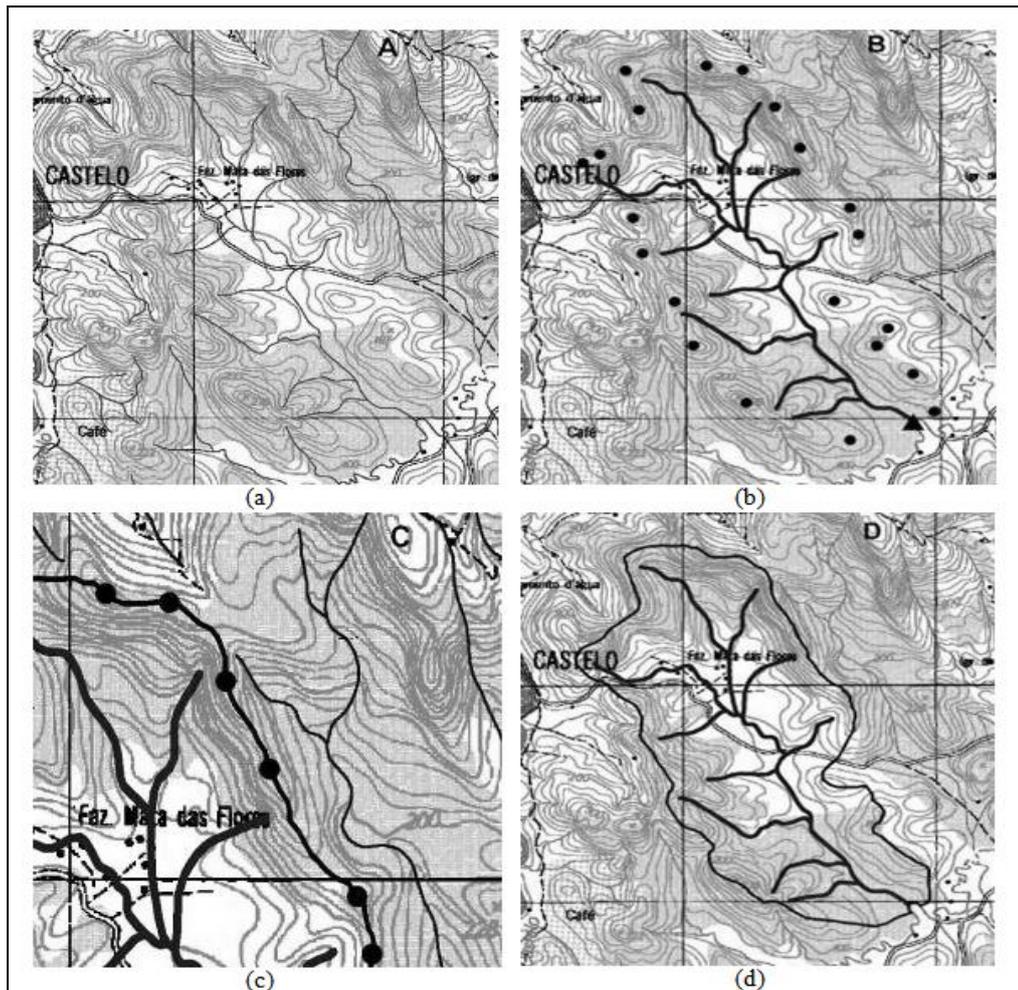


Figura 3 - Procedimentos de delimitação manual de uma bacia hidrográfica em carta topográfica (COUTINHO & CECÍLIO, 2010).

#### 2.2.1.2. Delimitação automática de bacias hidrográficas

Pelos processos e representações planialtimétricas é possível delimitar uma bacia em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), uma vez que estes *softwares* permitem a junção e visualização de todos os fatores necessários (altimetria, hidrografia e imagens).

A delimitação automática de bacias em SIG apresentada por Medeiros et al (2009) utiliza a direção do fluxo, gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual identifica as linhas divisoras (RODRIGUES & ADAMI, 2005). Tal processo deve ser utilizado com restrições, uma vez que o SIG determina o local de passagem da linha de acordo com o valor do *pixel*, e não pelo divisor topográfico, a exemplo do método manual, podendo incluir ou excluir áreas conforme a disposição e resolução espacial dos *pixels*, os quais

são gerados por modelos estatísticos e inferências, o que pode descaracterizar a realidade do terreno, ocasionando os erros mencionados.

Diversos trabalhos confirmam a eficiência de delimitação de bacias hidrográficas e mapeamento de hidrografia a partir de métodos automáticos em SIG (FAIRFIELD & LEYMARIE, 1991; TORRES et al., 2006; RIBEIRO et al., 2009; ALVES SOBRINHO et al., 2010).

Os procedimentos e métodos adotados para delimitação automática de bacias hidrográficas estão detalhadamente discutidos na revisão sobre geoprocessamento, no item 2.6.2.1.

### 2.3. MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Segundo Lima (2008), o manejo de bacias hidrográficas não se limita a proteção e conservação de corpos de água e cobertura vegetal de determinadas áreas, com o fim exclusivo de produzir água de boa qualidade para o consumo, pois estas práticas se aplicam a proteção ou preservação.

Deve-se considerar que a produção de água não é o único objetivo do manejo de bacias, o qual inclui também o uso e conservação de recursos múltiplos, sendo estes madeiras, alimentos, fibras, atividades de recreação, dentre outras.

O manejo de bacias hidrográficas pode ser entendido como o conjunto de ações que organizam e orientam o uso e ocupação do solo e demais recursos que se localizam nos limites da bacia, visando o uso sustentado do solo e da água, assim como a produção de bens e serviços. O conhecimento hidrológico deve ser visto como fundamental para o planejamento e manejo sustentável devido às estreitas relações da água com os demais recursos (BELTRAME, 1994; LIMA, 2008; VILAÇA et al. 2009).

### 2.4. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação brasileira, visando a proteção dos recursos naturais, a partir do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965), parcialmente alterada pela Lei nº 7.803 de 18 de julho de 1989, considera como Área de Preservação Permanente (APP):

“Art. 2º. Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a. ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b. ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c. nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

d. nos topos de morros, montes, montanhas e serras;

e. nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f. nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g. nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

h. em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação”.

Visando facilitar a aplicação e execução da legislação, a Resolução nº 303 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 30 de março de 2002 detalha parâmetros e definições no que se refere às APP's, sendo:

“Art. 2º Para os efeitos desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente;

II - nascente ou olho d'água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

IV - morro: elevação do terreno com cota do topo em relação a base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento (aproximadamente dezessete graus) na linha de maior declividade;

V - montanha: elevação do terreno com cota em relação a base superior a trezentos metros;

VI - base de morro ou montanha: plano horizontal definido por planície ou superfície de lençol d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota da depressão mais baixa ao seu redor;

VII - linha de cumeada: linha que une os pontos mais altos de uma seqüência de morros ou de montanhas, constituindo-se no divisor de águas;”

Os principais critérios para delimitação de APP são pautados em fatores naturais, como altitude e declividade do terreno, formações de vegetação e ecossistemas, e a diversidade de formações hidrológicas.

Existem várias formas de delimitar APP, as quais têm sua origem com base em verificações de campo e métodos topográficos tradicionais. Entretanto, tais métodos são demorados e exaustivos, e representam desafios para os mais experientes profissionais. Com a evolução e viabilização dos métodos automáticos e semi-automáticos, estes trabalhos tornaram-se dotados de confiabilidade e facilidade de acesso na forma de base de dados digitais

(CALHEIROS et al., 2004; HOTT et al., 2004; RIBEIRO et al., 2005; PINHEIRO & CABRAL, 2007; STEMPIAK et al., 2009, NASCIMENTO et al., 2005).

#### • Identificação dos topos de morros

Hott et al. (2004) abordam as divergências existentes quando se trata de delimitar APP com base no relevo, devido a identificação e distinção de APP em topos de morro, montanhas e linhas de cumeada. Os autores destacam as necessidades de reconhecimentos de campo e da necessidade da identificação das potenciais APP's.

A identificação semi-automática de topos de morros proposta por Leonardi et al. (2009) é aquela que, em ambiente SIG, o pesquisador aponta o maior e o menor valor de uma elevação, e o sistema delimita o terço superior da mesma (Figura 4).

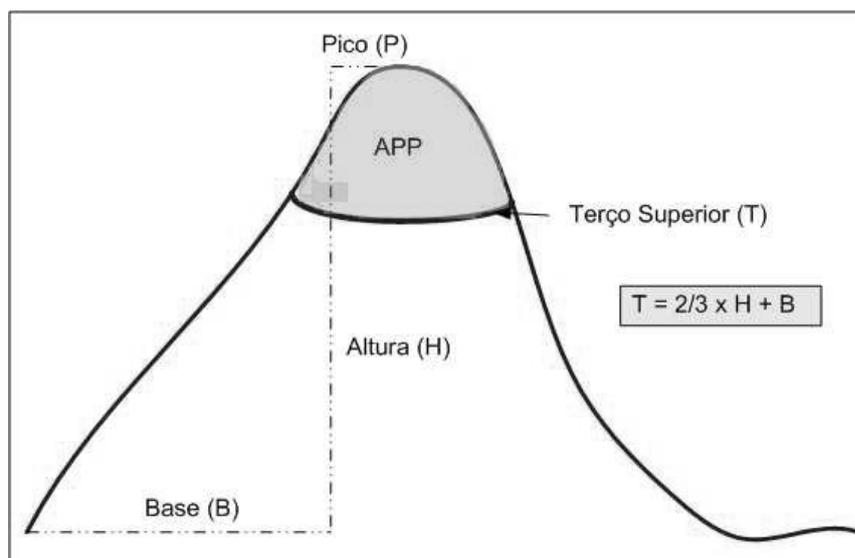


Figura 4 - Delimitação de APP pela identificação do terço superior de uma elevação (LEONARDI et al., 2009).

#### • Determinação das distâncias dos recursos hídricos

Calheiros et al. (2004) discorrem sobre a preservação de recursos hídricos pela adoção de matas ciliares, considerando as distâncias previstas para estas áreas de preservação com base nas nascentes e na largura dos canais, de acordo com a legislação, Figura 5.

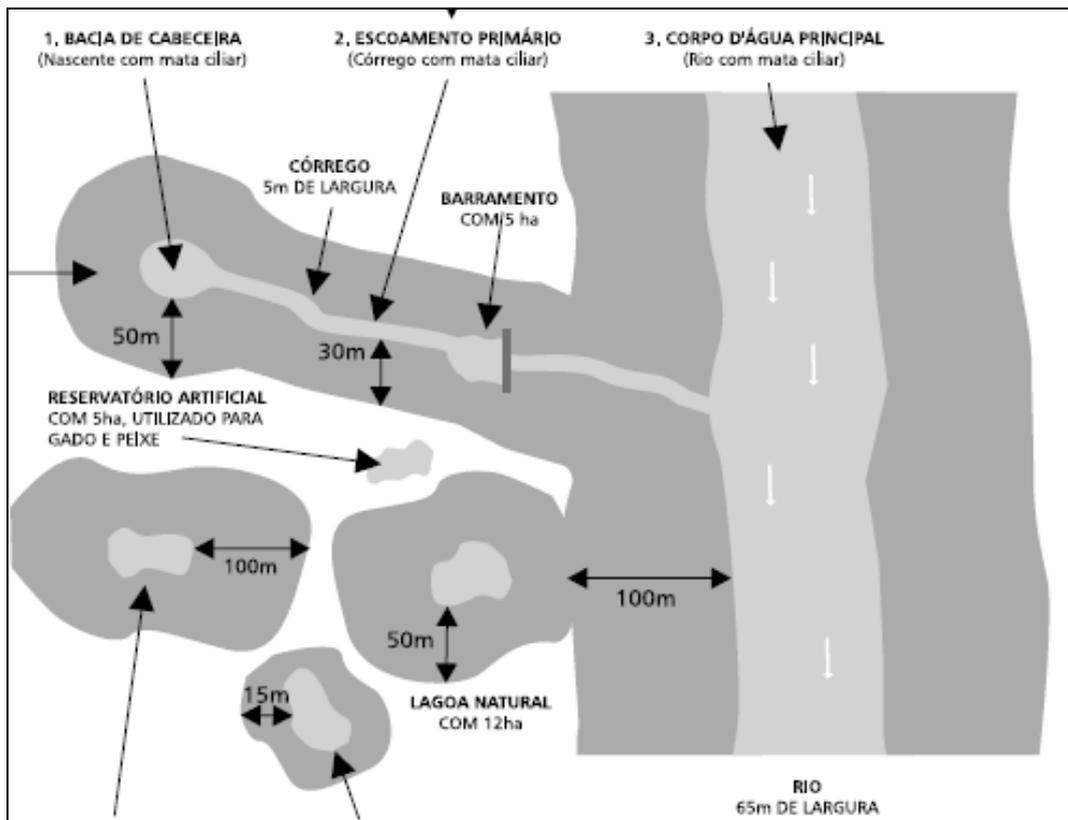


Figura 5 - Identificação de APP em conformidade com os recursos hídricos (CALHEIROS et al., 2004).

• **Determinação das áreas de declividade acentuada**

A indicação de APP com base na inclinação da superfície se pauta em critérios topográficos (RIBEIRO et al., 2009), onde se estabelecem relações entre a altitude e a projeção horizontal (distância real). Na Figura 6 a reta AB é o comprimento de declive, AC a projeção horizontal e BC a altitude.

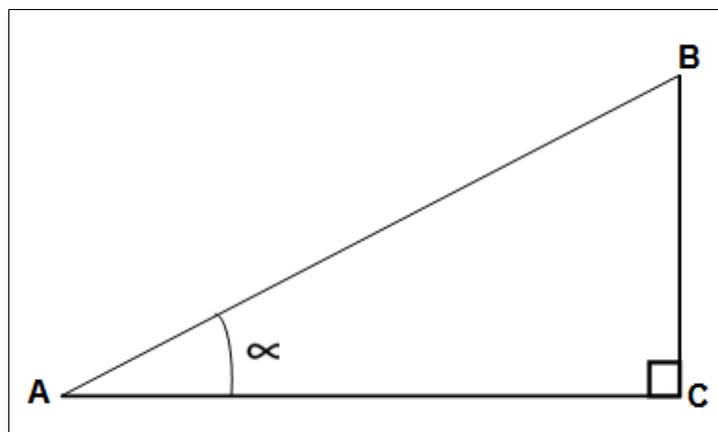


Figura 6 - Identificação de APP conforme a declividade do relevo (adaptado de COMASTRI & GRIPP JÚNIOR, 1998).

Segundo Comastri e Gripp Júnior (1998), o valor percentual da declividade pode ser obtido manualmente pela divisão da altitude pela projeção horizontal, seguido da multiplicação do resultado por cem (100). Este é o princípio adotado em levantamentos topográficos, o qual se aplica a identificação das áreas de preservação com base no relevo, quando apresentam declividade superior a 100% de inclinação.

## 2.5. EROSÃO DO SOLO

A erosão é um processo natural, característico da própria formação do solo, ocasionado principalmente pela ação dos ventos (erosão eólica), da água (erosão hídrica) e da biodiversidade (erosão mecânica). Por erosão geológica entende-se o conjunto de fenômenos naturais que agem sobre a superfície terrestre, modificando-a, e que contribuem para a própria formação do solo. A erosão acelerada é característica da ação antrópica, ocasionada pela adoção de práticas que rompem o equilíbrio das condições naturais (PRUSKI, 2009).

O termo erosão inclui os processos dinâmicos, capazes de remodelar a paisagem pela retirada de material intemperizado diante a ação dos agentes erosivos, o que pode ser verificado pelo nivelamento do terreno, no caso da erosão laminar, ou formação de sulcos ou voçorocas (GUERRA, 2001; GUERRA & GUERRA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005; SILVA et al., 2007; PRUSKI, 2009).

A erosão acelerada, ou simplesmente erosão, é um fenômeno de grande importância, devido a sua velocidade de ocorrência e grandes prejuízos ocasionados a diversidade de atividades econômicas e ao meio ambiente (PRUSKI, 2009).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005) a erosão hídrica é o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo pela enxurrada de forma acelerada, causa principal do depauperamento das terras no Brasil.

A erosão hídrica pode ser descrita a partir de três estágios principais da ação da água sobre as partículas do solo, sendo estes:

- Desprendimento: rompimento da coesão das partículas de solo, ocasionado pelo impacto das gotas (efeito *splash*), pelo atrito da lâmina de água com a superfície e pela tensão cisalhante da formação de sulcos;

- Transporte: os sedimentos desagregados são carregados por salpicamento e/ou pelo escoamento, processos que definem o transporte; e
- Deposição: esta etapa pode ser compreendida como a mais seletiva do processo erosivo, pois varia conforme tamanho, forma e densidade dos sedimentos, e de todos os fatores relacionados à desagregação e carregamento dos materiais. Durante o transporte parte dos sedimentos pode ser depositada pelo trajeto do fluxo em função de alterações na topografia e rugosidade do terreno, suavização da encosta, na lâmina de escoamento, densidade da vegetação, dentre outros.

Os principais tipos de erosão hídrica são:

- Erosão entre sulcos: também chamada de erosão laminar, pois é característica do desprendimento e remoção de partículas de maneira uniforme por toda a encosta, não se verificando direcionamento linear do escoamento. Este tipo de erosão nem sempre é notada, e nem por isso é menos prejudicial que as demais formas de erosão (PRUSKI, 2009).
- Erosão em sulcos: concentração de escoamento superficial, onde o fluxo forma canais no terreno ou se direciona aos já existentes. Trata-se de um estágio em que os canais podem ser desfeitos pelas práticas de cultivo, devido a pequena intensidade da erosão. De acordo com Foster (1982), para critério de classificação, a profundidade de um sulco não ultrapassa 300 mm, e quando acima de tal medida trata-se de voçoroca. A coesão do solo e a tensão cisalhante são fatores de grande influência para formação e evolução dos sulcos, sendo mais comum o transporte de sedimentos desprendidos, mas com o aumento da tensão pode ocorrer desprendimento de partículas (GUERRA, 1999).
- Erosão em voçorocas; trata-se de um processo semelhante à erosão em sulcos, mas com significativa concentração de fluxo e grande profundidade das feições erosivas, as quais não podem ser desfeitas pelas práticas de cultivo.

Pruski (2009) define voçoroca como sulcos com profundidade superior a 30cm e largura superior a 1m. A intensidade das chuvas e a concentração de fluxo são os principais fatores para ocorrência deste tipo de erosão (GUERRA, 1999).

Estas formas de erosão não ocorrem de forma isolada ou sequencialmente, conforme o exposto, e são influenciados por fatores naturais (topografia, tipo de solo, vegetação natural, regime de precipitação, dentre outros) e antrópicos (uso e manejo do solo). As estimativas de perdas de solos são consideradas de grande importância para identificação de áreas de maior intensidade da erosão a partir da correlação dos fatores que favorecem a ocorrência da mesma (erosividade da chuva, solos, declividade e comprimento de rampa, uso e manejo do solo).

### 2.5.1. Equação Universal de Perdas de Solo

Devido à complexidade de processos que se relacionam aos processos erosivos, diversas propostas foram adotadas para encontrar uma modelagem adequada, com a intenção de gerar uma descrição física e matemática das perdas de solos por erosão hídrica.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) as propostas de elaboração de equações de avaliação de perdas de solos datam de 1940, na região de *Corn Belt* (EUA), e tiveram maior expressão no fim da década de 1950 com o surgimento da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS), traduzida do original *Universal Soil Loss Equation* (USLE).

Originalmente, estas equações eram limitadas a utilização de procedimentos empíricos, mas nas últimas décadas, com o avanço da informática, tornou-se possível o desenvolvimento de procedimentos baseados em técnicas de simulação, que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais dos fatores condicionantes do processo erosivo.

Com a meta de fornecer embasamento às análises, que se pautam nos efeitos que o uso e manejo agrícolas exercem sobre o comportamento hidrológico, e ainda sobre a qualidade da água da bacia, diversos modelos de predição de erosão são desenvolvidos no exterior.

Wischmeier & Smith (1978), citados por Bertoni e Lombardi Neto (2005) e por Silva et al. (2007), revisaram a equação de perdas de solo (Equação 1) a qual exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão hídrica, sendo:

$$PS = RKLSCP$$

(1)

em que:

PS: perda de solo por área em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ;

R: fator erosividade da chuva,  $MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1}\ ano^{-1}$ ;

K: fator erodibilidade do solo,  $t\ ha^{-1}\ (MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1})^{-1}$ ;

L: fator comprimento do declive, adimensional;

S: fator grau de declive, adimensional;

C: fator uso e manejo do solo, adimensional; e

P: fator práticas conservacionistas, adimensional.

De acordo com Amorim et al. (2009) os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais, e os fatores C e P são fatores antrópicos (uso e ocupação dos solos). Na seqüência tem-se uma descrição mais detalhada dos fatores da EUPS:

#### • Fator erosividade da chuva (R)

Índice numérico que expressa a capacidade da chuva em causar erosão em áreas desprotegidas. É calculado a partir de registros pluviométricos, e considera tanto a quantidade precipitada, quanto a energia cinética da chuva sobre o solo. Para países que não dispõem de bancos de dados, este fator é calculado a partir da estimativa de índices de erosividade para aplicações da EUPS (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

#### • Fator erodibilidade do solo (K)

Relação entre intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para solo constantemente sem cobertura ou com culturas cíclicas. Este fator leva em conta as diferentes propriedades físicas dos solos e sua resistência à erosão, considerando que certos solos são mais erodíveis que outros, independentemente da declividade da encosta. Segundo Silva et al. (2007) várias pesquisas atribuem valores ao fator K para as mais diversas classes de solos nas distintas regiões brasileiras.

• **Fator comprimento do declive (L)**

A intensidade da erosão hídrica pode ser fortemente afetada pelo comprimento do declive e seu gradiente. O fator L representa a relação de perdas de solos entre comprimento do declive e comprimento de rampa de 25m para os mesmos fatores solo, chuva, grau de declive, cobertura e manejo (AMORIM et al., 2009).

• **Fator grau de declive (S)**

Trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, sendo apresentada uma equação para possíveis ajustes às características locais (Equação 2). É considerado um fator de difícil obtenção, principalmente para trabalhos com bacias hidrográficas, sendo a adoção de *softwares* que efetuam seu calculo uma alternativa (Silva et al., 2007).

Nas aplicações práticas da EUPS os fatores L e S são considerados juntos, sendo tomada a seguinte equação para sua estimação:

$$LS = \left( \frac{\sqrt{X}}{100} \right) * (1,36 + 0,97D + 0,1385D^2) \quad (2)$$

em que:

X: comprimento da vertente (m); e

D: declividade do terreno (%).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) ajustaram uma equação para o cálculo do fator LS (Equação 3) a partir de dados de perdas de solo por erosão dos principais tipos de solos do Estado de São Paulo. Esta equação se pauta numa média de 10 anos de observações em talhões de distintos comprimentos de encosta e graus de declive (AMORIM et al., 2009).

$$LS = 0,00984 * (\lambda^{0,63} * D^{1,18}) \quad (3)$$

em que:

$\lambda$  = comprimento de rampa;

Px = tamanho do pixel (10 m); e

D = declividade do terreno (%).

• **Fator uso e manejo do solo (C)**

Representa a relação de perdas de solo considerando o terreno com cobertura e terreno descoberto, nas mesmas condições de avaliação do fator K. Entende-se, que em áreas cultivadas as perdas de solo por erosão hídrica podem ser reduzidas, devido a potencial proteção do solo, o que pode apresentar resultados distintos quando consideradas as sazonalidades das culturas.

• **Fator práticas conservacionistas (P)**

Relação entre perdas de solo esperadas pelo plantio respeitando as curvas de nível e pelo plantio morro abaixo. De acordo com Silva et al. (2007) a obtenção dos fatores C e P são resultados de longos e onerosos processos para identificação de dados definitivos. Estes autores apresentam tabelas de valores propostos por Wischmeier & Smith (1978) e por Mitchell e Bubenzer (1980).

Verifica-se que a literatura apresenta, em sua grande maioria, fatores que caracterizam determinadas limitações da EUPS, sendo as principais:

- Por se tratar de um modelo empírico, apresenta-se limitada às condições da região onde foi desenvolvida, podendo ser ineficiente em condições edáficas e climáticas diferentes das de sua origem.
- Necessita de pesquisa para adequação de componentes do modelo em conformidade com a região analisada.
- Não contempla processos de deposição sedimentar ou erosão mais avançada em sulcos.
- Não identifica eventos que podem causar grandes perdas de solos, a exemplo daqueles caudados por chuvas isoladas.
- Utiliza valores médios da área de estudos, desconsiderando variações espaciais e temporais.

Embora atualmente haja outros procedimentos para representar as perdas de solo, a EUPS ainda é muito importante porque permite a visualização clara dos principais fatores que interferem no processo erosivo.

A EUPS é considerada um bom instrumento para previsão de perdas de solo por erosão laminar por exigir uma quantidade de informações relativamente pequena e por ser uma equação bastante conhecida e estudada. Apesar das limitações expostas, diversos trabalhos demonstram a eficiência desta equação para estimativas de perdas se solos em bacias hidrográficas, destacando-se Gameiro (1997), Manniguel et al. (2002), Araújo (2006), Avanzi et al. (2008), Silva et al. (2008), Beskow et al. (2009), Machado et al. (2009), Terranova et al. (2009) e Miguel (2010).

## 2.6. GEOPROCESSAMENTO APLICADO EM ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

### 2.6.1. Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento define o conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, que juntas permitem localizar e ainda visualizar o fenômeno que se pretende analisar. Seu surgimento se deveu à necessidade de organização da localização dos pontos de interesse, seguido da administração e desenvolvimento dos mesmos, associado ao ganho de conhecimento. Devem ser considerados os critérios tempo e espaço, pois estes permitem associar o acompanhamento das ocorrências e o local observado respectivamente (CÂMARA et al., 1996, 2001; XAVIER DA SILVA, 2001; NAMIKAWA et al., 2003; DRUCK et al., 2004; SILVA et al., 2007).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são programas específicos para o desenvolvimento de trabalhos com dados espaciais, considerando as dimensões (X, Y e Z), fatores relacionados aos atributos e sua localização. Seus componentes principais são interface com usuário, a entrada e integração de dados, as funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados na forma de banco de dados (DRUCK et al., 2004). A Figura 7 demonstra a arquitetura do SIG.

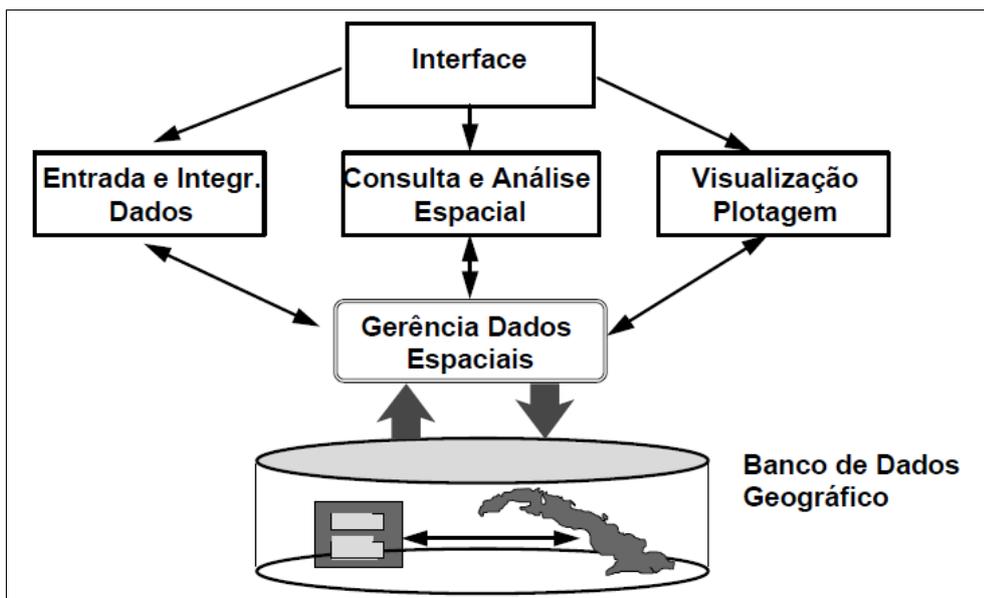


Figura 7 - Arquitetura dos SIG's (DRUCK et al., 2004).

#### 2.6.1.1. Representação de dados de geoprocessamento

De acordo com Câmara et al. (2001), as formas de representação geométricas podem ser realizadas a partir de duas classes de dados: representação vetorial e representação matricial.

A representação vetorial é a tentativa de representar um objeto ou elemento com maior precisão, o que é possível a partir de três formas básicas: pontos, linhas ou polígonos.

Os dados de representação matricial são obtidos pela geração de malha quadriculada regular, a partir da qual se constrói, célula por célula, o elemento representado. Para cada célula é atribuído um código na forma de atributo, permitindo que o computador identifique a que elemento ou objeto a célula, ou conjunto de células, pertencem.

A Figura 8 simboliza as formas de representação vetorial por áreas de atributos A, B e C, e matricial por células de mesmos atributos nos locais de ocorrências similares da representação vetorial.

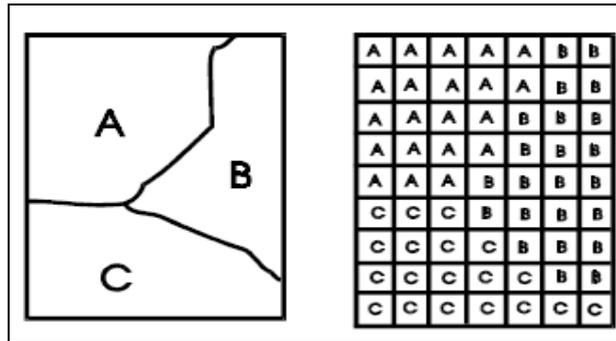


Figura 8 - Formato vetorial e matricial de dados de SIG's (CÂMARA et al., 2001).

Considerando que o ambiente de SIG permite diversidade de interações e recortes entre distintos formatos das representações, deve-se atentar para uma adequação dos tamanhos dos *pixels* em relação à escala adotada. Uma vez que se recorta uma representação matricial por um polígono, ocorre a formação de arestas, resíduos, seguido de inclusão ou exclusão de áreas (Figura 9), o que leva a necessidade relacionar a escala ao tamanho do *pixel*.

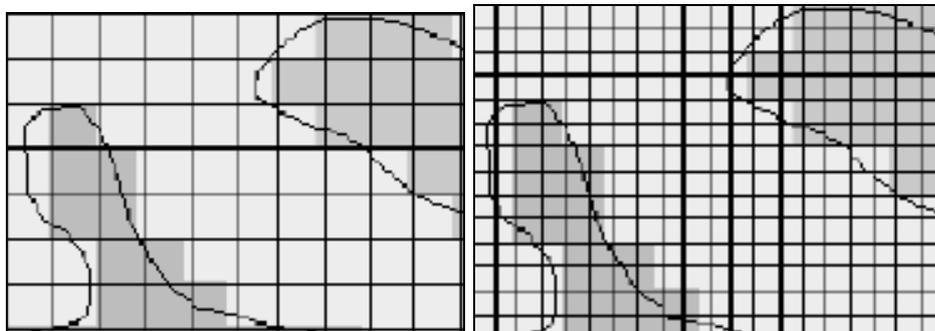


Figura 9 - Interação de dados de SIG's de formato vetorial e matricial (adaptado de CÂMARA et al., 2001).

Para cálculos de área e perímetro é possível gerar linhas e modificá-las para polígono, devido à topologia do sistema, realizando o fechamento da figura pela coincidência dos extremos da linha, utilizados para recortes de outros *layers* (CÂMARA et al., 1996). É importante considerar que a união de linhas pode causar distorções na representação original pelo seu deslocamento durante a atração dos pontos. Sistemas avançados podem gerar diretamente os polígonos ou atrair os pontos sem distorcer a representação.

### 2.6.1.2. Imagens de sensoriamento remoto

O princípio do sensoriamento remoto se pauta no registro da energia refletida proveniente da superfície terrestre, o que permite a obtenção de informações sobre as ocorrências e fatores relacionados aos alvos, uma vez que a resposta espectral diferenciada dos alvos se deve às suas propriedades físicas, químicas e biológicas (NOVO, 1989; CROSTA, 1992; FLORENZANO, 2002; MOREIRA, 2005).

As imagens de sensoriamento remoto podem ser obtidas em diferentes níveis de aquisição, sendo os mais comuns de nível sub-orbital; realizado pela acoplagem de sensores a bordo de aeronaves, o que inclui os levantamentos aerofotográficos e a videografia, e de nível orbital; realizados por satélites espaciais que imageiam a Terra (NOVO, 1989).

Durante o imageamento os sensores estão sujeitos a alterações de suas rotas, o que pode prejudicar a geração do produto final por distorções nas imagens. A correção geométrica das imagens, ou georeferenciamento, é a associação de uma imagem a uma base cartográfica (Figura 10), para eliminar ou diminuir as distorções ocasionadas no momento do deslocamento do sistema imageador (CROSTA, 1992).

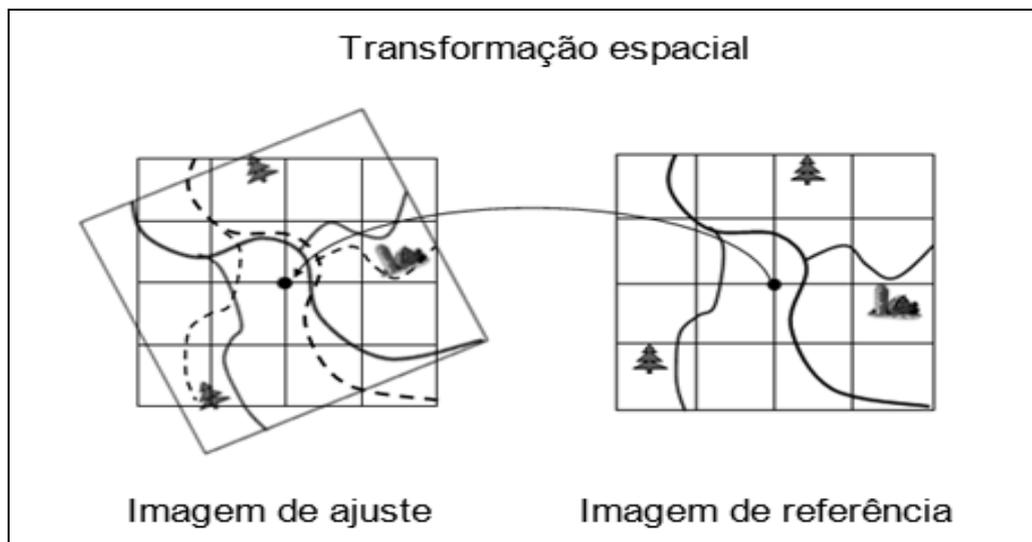


Figura 10 - Representação de correção geométrica de imagem digital, por carta topográfica, em SIG (adaptado de CÂMARA et al., 1996).

### 2.6.1.3. Modelagem do terreno

A Modelagem Numérica do Terreno (MNT) refere-se a apresentação matemática e computacional de dados de campo, a qual tem o objetivo de interpolar os dados vetoriais (pontos ou linhas), levando em consideração os valores que são atribuídos às amostras. Representam uma determinada superfície ou um fenômeno que esteja ocorrendo na mesma, a exemplo de ocorrências minerais, amostragem de solos, representações climáticas e meteorológicas (NAMIKAWA et al, 2003).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma denominação atribuída ao MNT para representação do relevo, sendo os valores de X e Y de localização (coordenadas) e Z o valor da célula ou *pixel* (altitude). Suas principais representações são em níveis de cinza (distribuídos por intensidade ou por classificação) e sombreamento, os quais podem ser verificados na Figura 11 (NAMIKAWA et al., 2003; RODRIGUES & ADAMI, 2005; SANTOS, 2007).

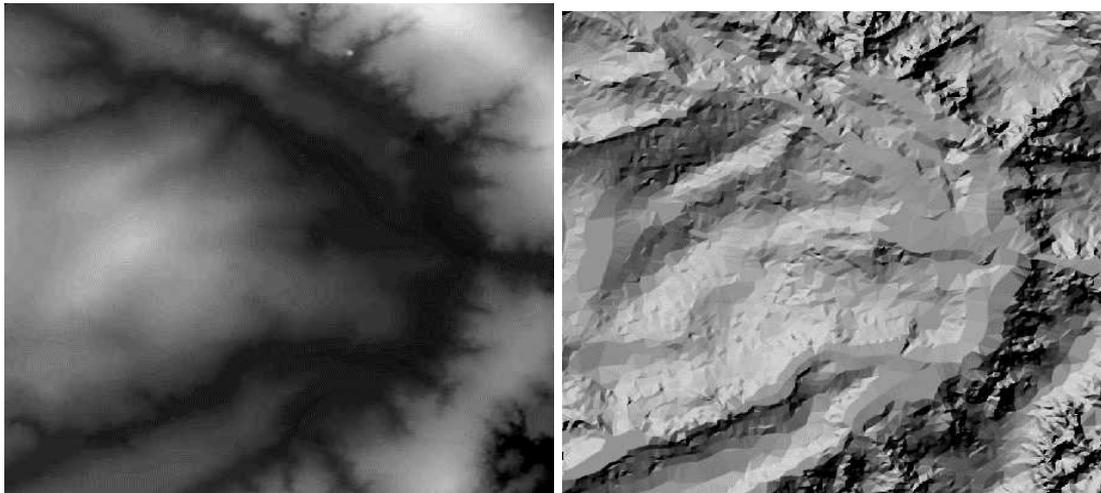


Figura 11 - Representação de MDE por níveis de cinza e sombreamento (NAMIKAWA et al., 2003).

A criação de um modelo numérico de terreno corresponde a uma maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos:

- Calcular volumes e áreas.
- Desenhar perfis e seções transversais.
- Gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza.
- Gerar mapas de declividade, aspecto e perspectivas tridimensionais.

O processo de geração de um MNT pode ser dividido em:

- a) Aquisição de amostras, curvas de isovalores ou pontos tridimensionais representativos do fenômeno de interesse;
- b) Geração do modelo, pautado na criação de superfícies de ajuste com base nas amostras para representação contínua do fenômeno; e
- c) Aplicações, *procedimentos de análise* executados sobre os modelos digitais, as quais podem ser qualitativas ou quantitativas (NAMIKAWA et al., 2003).

O ambiente de SIG comumente é dotado de distintos interpoladores, ferramentas específicas para tratamento de dados espaciais, que levam em conta seus valores de atributos e indicam os valores das áreas desprovidas de amostras, gerando uma continuidade da superfície analisada. Existem diversos tipos de interpoladores para geração de MNT (*Triangular Irregular Network - TIN*, Inverso do Quadrado da Distância - IQD, Topo to Raster, Krigagem, Spline dentre outros) os quais são adotados a partir de critérios específicos, principalmente com base nos elementos de representação (CÂMARA et al., 2001).

Para a geração de superfícies representativas de dados altimétricos a partir de isolinhas (curvas de nível) comumente se utilizam a estrutura vetorial *TIN* e o interpolador *Topo to Raster*. A geração de superfícies por meio de interpolador tipo Krigagem se mostra de grande eficiência quando aplicado em dados espaciais representados por pontos e pela inclusão da aleatoriedade, mas quando adotado para representação da superfície a partir de dados de isolinhas pode causar perda de exatidão altimétrica nos talwegues e nos divisores topográficos em função das amplitudes altimétricas do relevo (VALERIANO, 2004).

A utilização da estrutura vetorial *TIN* consiste na criação de triângulos para a representação das linhas de altimetria ou pontos de amostragem, na qual as arestas dos triângulos permitem a interpretação de informações morfológicas, a exemplo de drenagem e descontinuidades do terreno (CÂMARA et al., 1996, 2001).

O uso mais comum em triangulação é a partir da malha ou Triangulação de *Delaunay*, cujo critério é a maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, o que permite que os triângulos da malha final sejam o mais

próximo de eqüiláteros possível, o que evita a criação de ângulos internos agudos. A interpolação por triangulação de linhas pode ser visto na Figura 12.

A malha triangular (TIN) é uma estrutura vetorial que representa a superfície por um conjunto de interfaces triangulares ligadas. Em cada vértice do triângulo (nó-arco) são armazenados os atributos XY (localização) e Z (altimetria). Deve-se atentar que o TIN não é originalmente um interpolador, mas os valores de altimetria podem ser estimados por interpolação desta representação (CÂMARA et al., 2001).

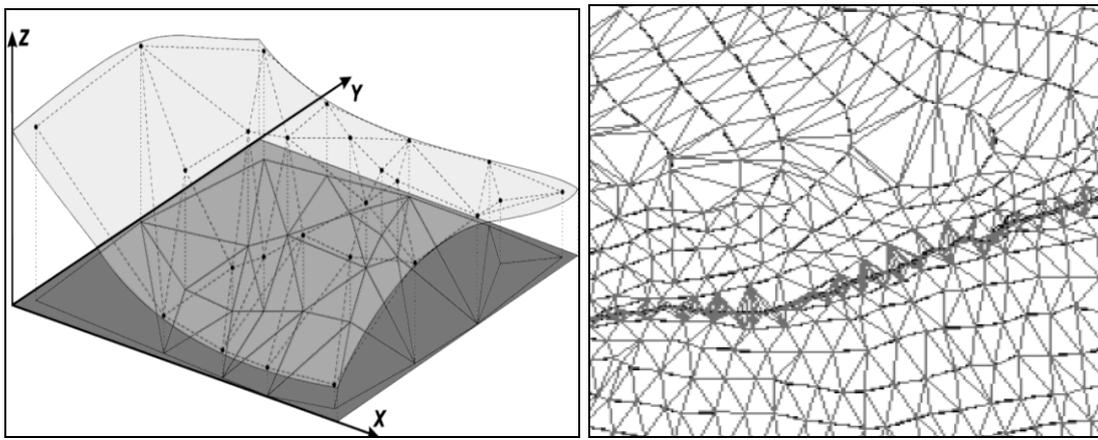


Figura 12 - Representação de TIN a partir de pontos e linhas (NAMIKAWA et al., 2003).

O ambiente de ArcGIS oferece recursos para a geração de um MDE a partir da conversão de TIN (vetorial) para formato matricial (Raster). Para isso, adota o interpolador Vizinho Mais Próximo, considerando os valores das arestas dos triângulos para estimação dos valores internos (ESRI, 2006).

O Topo to Raster (TR), criado para geração de modelos hidrologicamente consistentes, o qual utiliza a interpolação por Diferenças Finitas. Este modelo interpola os valores de atributos de representações vetoriais por varredura, combina a eficiência de interpolação local (a exemplo do Inverso do Quadrado da Distância) com interpolação global, que utiliza superfície de continuidade (a exemplo da Krigagem), de forma a garantir uma estrutura contínua de drenagem, e correta representação das cristas e início dos fluxos do terreno (ESRI, 2006).

O interpolador Topo to Raster diferencia-se de outros interpoladores por não formar descontinuidades nas superfícies e pode ter sua modelagem de

drenagem acoplada a outras formas de representação, a exemplo da rede hidrográfica original de cartas topográficas (REDIVO et al., 2002).

As formas de representação do terreno permitem que sejam calculados e representados tematicamente diversos fatores relativos à superfície terrestre (Figura 13), a exemplo de altimetria, hipsometria, declividade e orientação (CÂMARA et al. 1996).

De acordo com Namikawa et al., (2003) a declividade de uma superfície pode ser representada em função da tangente referente à inclinação de sua posição de acordo com o MDE. É composta pelo gradiente de máxima razão de variação do valor célula (Z), chamada de declividade, a qual pode ser representada em graus ou porcentagem.

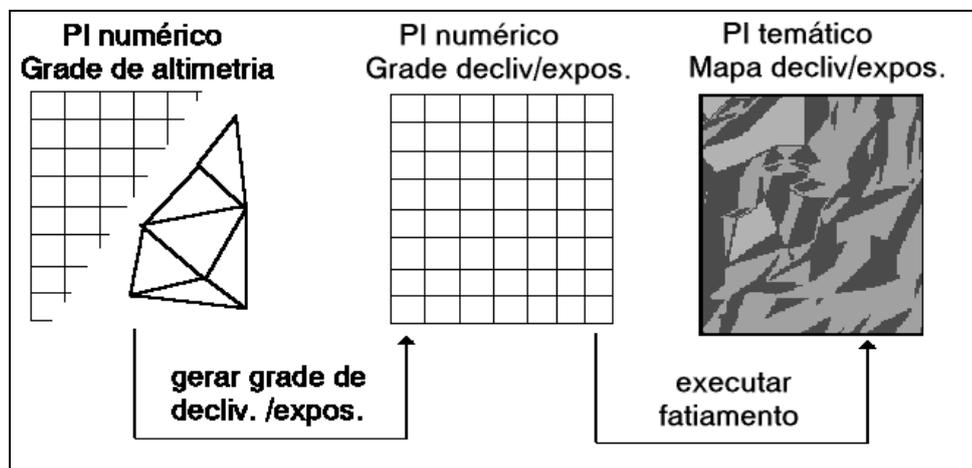


Figura 13 - Representação matricial do relevo em SIG (CÂMARA et al., 1996).

## 2.6.2. Aplicações de geoprocessamento em estudos de bacias hidrográficas

O uso dos SIG's pode propiciar maior precisão, confiabilidade e ganho de tempo na realização de estudos de bacias hidrográficas, sendo marcante a diversidade de ramos do conhecimento e número de adeptos que se utilizam destes sistemas (Silva et al., 2007).

### 2.6.2.1. Identificação automática de fatores topográficos

O MDE é o principal elemento a se utilizar para a delimitação de bacias hidrográficas pelo método automático, realizado em ambiente SIG. Entretanto, o MDE originalmente pode apresentar imperfeições, e deve passar pelo

processo de filtragem, realizada pelo *software* para correções, e após tal processo segue uma seqüência lógica para delimitação.

Os procedimentos discorridos a seguir são originais das propostas de Medeiros et al., (2009) e de Alves Sobrinho et al. (2010), e explicam as etapas de correção e delimitação de bacias pelo método automático em ambiente SIG:

a) Filtragem do MDE: tem a finalidade de gerar um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) pela eliminação de depressões ou espúrias: áreas côncavas, formadas por células de valores de altimetria superior. São imperfeições que provocam erros na geração de modelos de escoamento de fluxo, as quais devem ser corrigidas. A Figura 14 representa a correção do MDE;

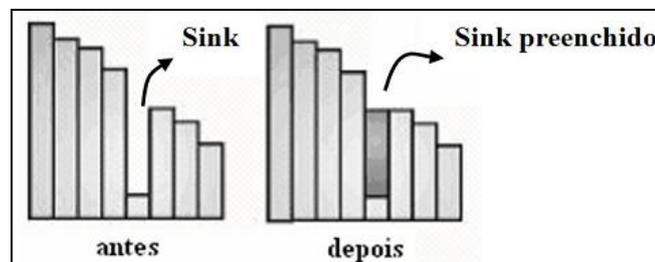


Figura 14 - Princípio do preenchimento das espúrias de um MDE (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

b) Direção de escoamento: identifica a direção de escoamento de cada célula do MDE, com base no conceito de que o escoamento ocorre para uma das oito células vizinhas ortogonais e diagonais, Figura 15. É então gerado um dado de estrutura matricial pelo valor de direção, para cada célula, indicando a célula vizinha de menor valor;

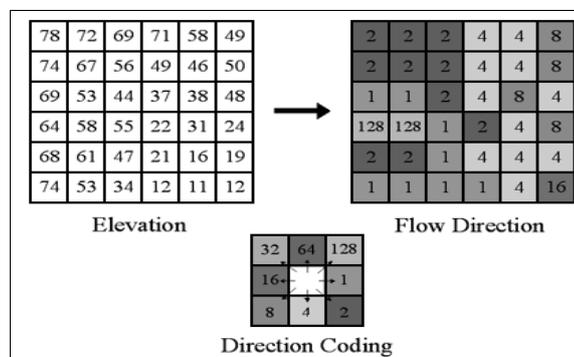


Figura 15 - Representação da identificação da direção do escoamento superficial (ESRI, 2006).

- c) Escoamento acumulado: é gerado a partir da direção de fluxo e armazena o número de células que drenam para cada célula do mapa. As células de maior valor indicam concentração de volume e vazão de escoamento; geralmente nos locais mais baixos que representam os canais de drenagem, e as células de valor zero indicam a origem dos fluxos; nos locais mais altos indicativos das bordas da bacia;
- d) Rede de drenagem: gerado pela definição de um valor de limiar, critério definido pelo usuário, aplicado ao mapa de fluxo acumulado. O limiar indica o número mínimo de células de contribuição que o MDE deve possuir para identificar a rede de drenagem. Com base no valor adotado, são classificadas as células do fluxo acumulado em zero (menor que o limiar) ou um (maior ou igual ao limiar), gerando um mapa binário que representa a rede de drenagem. Os valores de fluxo acumulado e a identificação da drenagem são representados na Figura 16;

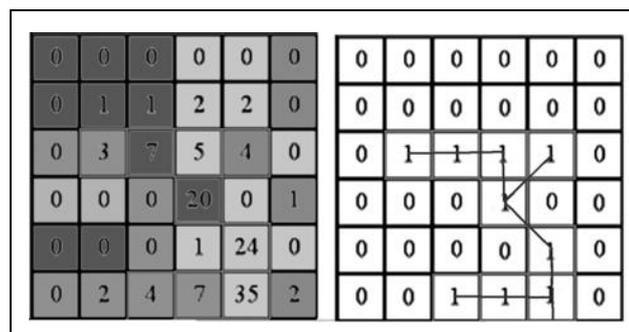


Figura 16 - Representação da identificação de fluxo acumulado e da rede de drenagem (MEDEIROS et al., 2009).

- e) Delimitação da bacia hidrográfica (*Watershed Delineation*): adota o princípio de que todas as células que contribuem para o escoamento constituem a bacia hidrográfica, sendo necessário identificar a foz da bacia a partir de uma célula de valor inferior na direção de fluxo, e que a partir desta identifica-se a drenagem pelo divisor topográfico.

#### 2.6.2.2. Delimitação de áreas de preservação permanente em bacias hidrográficas.

Ribeiro et al. (2005) identificaram as APP's da microbacia do córrego do Paraíso (Viçosa-MG), área de 212 ha, pela junção de fotografias aéreas e

dados cartográficos digitais de hidrografia e altimetria em ambiente de SIG, seguido da geração de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). As áreas de preservação, delimitadas por critérios estabelecidos pela legislação adotada, ocuparam mais da metade da bacia.

De acordo com Ribeiro et al (2005) a delimitação de Áreas de Preservação Permanente adotada pelo Código Florestal Brasileiro se pauta em fatores físicos, sendo estes os recursos hídricos a partir de nascentes e margens de canais, lagoas e reservatórios, e do relevo conforme a inclinação e os topos de morros.

Entretanto, delimitar tais áreas não é uma tarefa fácil, principalmente quando realizada pelos métodos topográficos tradicionais, os quais representam resultados demorados e poucos satisfatórios. Com o surgimento e aperfeiçoamento dos SIG's a obtenção de informações mais complexas, a exemplo de mapas de declividade e dimensionamento de redes hidrográficas de grandes áreas, passaram a ser realizadas de forma automática e ganharam maior confiabilidade, além de facilidade de acesso e manipulação das bases de dados digitais.

A geração de mapas de distancia com base nos recursos hídricos se pauta no método de análise de proximidade de fatores, representados por objetos em formatos de pontos ou linhas, a partir dos quais são formadas zonas com larguras ou distâncias específicas em torno dos objetos selecionados, o que pode ser visualizado na Figura 17 (CÂMARA et al. 1996).

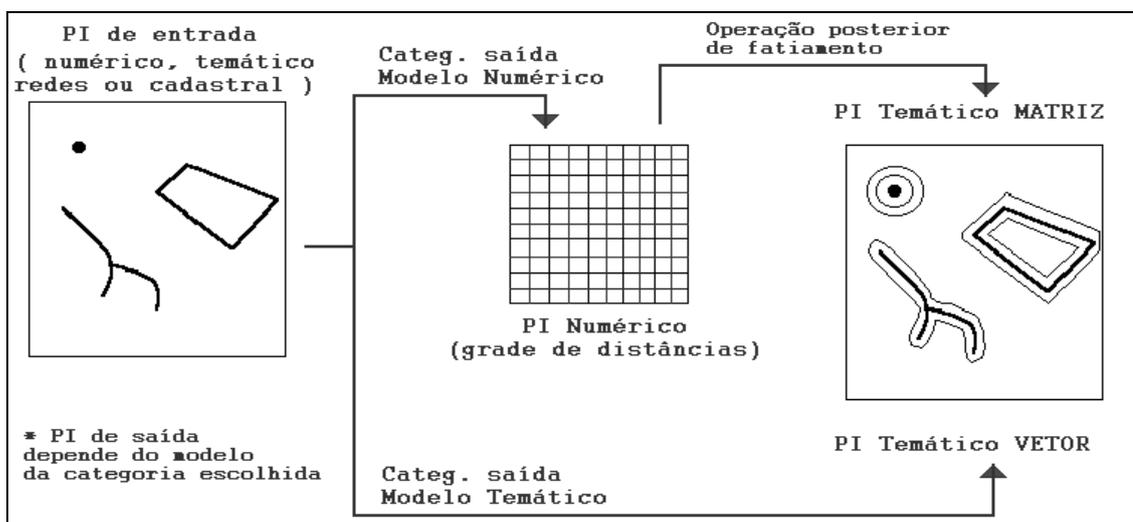


Figura 17 - Princípios de mapeamento de distância a partir de dado vetorial em SIG (CÂMARA et al., 1996).

### 2.6.2.3. Estimação da erosão em bacias hidrográficas

O ambiente de SIG permite que sejam reunidos diversos elementos de representação espacial para uma avaliação ambiental, desde que todos os elementos da situação ambiental (planos de informação) sejam dotados de localização comum (georeferenciados a partir de latitude e longitude), método também conhecido por sobreposição de mapas. Segundo Xavier da Silva (2001), para a investigação de situações ambientais é preciso conjugar todo o conjunto de variáveis convergentes. Diante o julgamento das variáveis de interesse, estas podem ser modeladas por superposição de mapas. O uso de mapeamento digital (*Raster*) tornou possível conjugar inúmeros mapas,

O procedimento mais comum de sobreposição de mapas utiliza a Lógica Booleana, que permite a extração de diversas informações mapeadas a partir de regras algébricas pautadas nos atributos dos elementos de representação espacial e/ou ambiental. A Figura 18 indica as condições dos planos de informação por estrutura binária (1 e 0), a partir dos quais distintas sucessões de combinações podem ser montadas (árvores binárias), representando o caminho lógico da situação ambiental. Estes modelos explicam a junção de todas as possibilidades relacionadas a um evento (CÂMARA et al., 2001; XAVIER DA SILVA, 2001).

Diversos trabalhos apresentam metodologias para estimação das perdas de solos pela adequação da EUPS ao ambiente de SIG.

Araújo (2006) realizou a modelagem de erosão de uma bacia hidrográfica pela EUPS a partir de dados de sensoriamento remoto (SRTM), obtendo-se a delimitação da bacia, identificação da rede de drenagem, estimativa do fator LS e refinamento dos dados de solos. Foi possível verificar que as variações dos fatores de risco de erosão se associam a espacialização dos fatores da EUPS de potencial natural de erosão (R, K e LS), enquanto os valores extremos de risco de erosão se associam ao uso agrícola do solo.

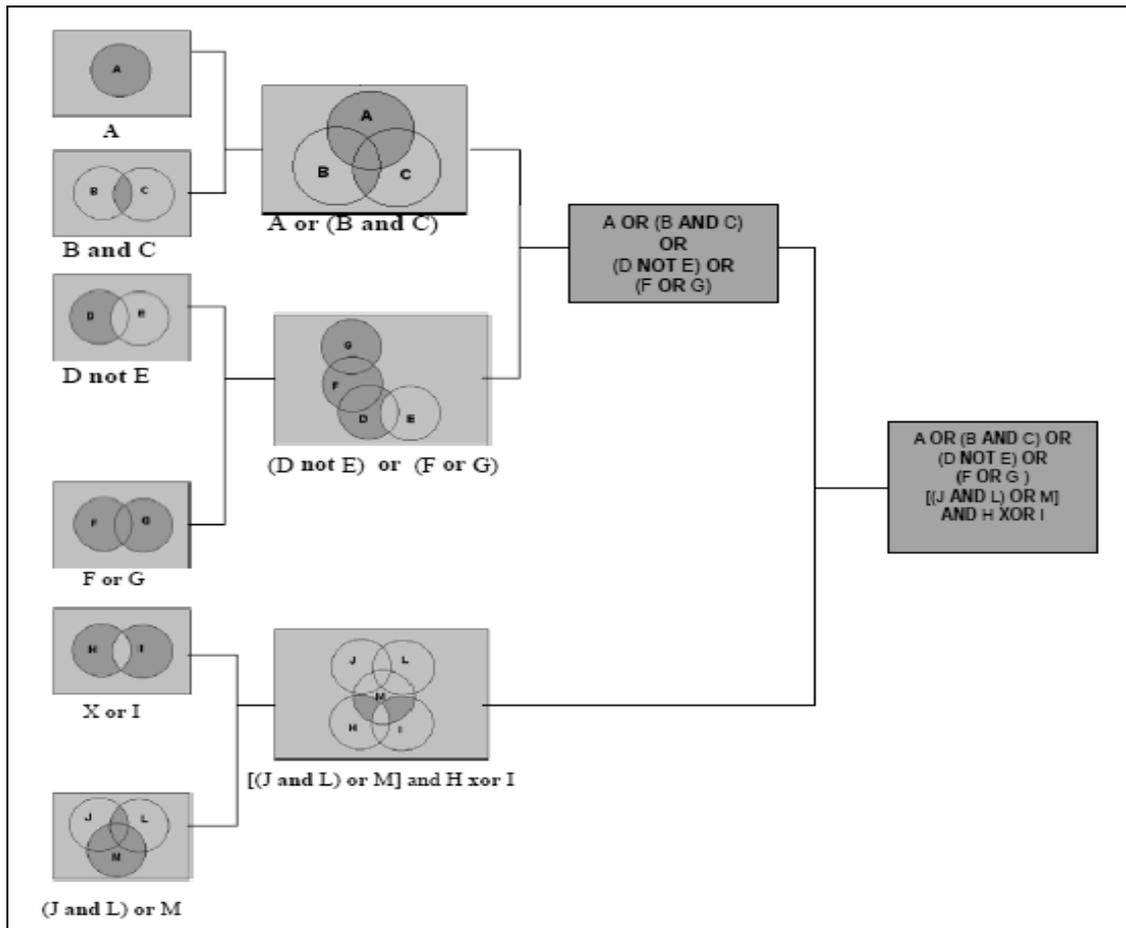


Figura 18 - Fundamentos de sobreposição de mapas matriciais em SIG (XAVIER DA SILVA, 2001).

Silva et al. (2008) fizeram simulação e mapeamento de perdas de solo em uma sub-bacia utilizando a EUPS em ambiente SIG. Chegaram à conclusão que a área analisada não apresentava altas taxas de erosão, com exceção das áreas de cambissolo utilizadas para pastagem e eucalipto, estando este último relacionado à forma de plantio da região. Esta pesquisa permitiu o apontamento do setor leste da bacia como o mais alterado e que necessita de cuidados relacionados ao manejo e conservação de recursos solo e água.

Terra Nova et al. (2009) verificaram na região de Calábria, Sul da Itália, a erosão hídrica a partir de diferentes cenários de uso e ocupação do solo (potenciais impactos e medidas preventivas). A região apresentou características geológicas e climáticas propensas à erosão, e os dados indicaram a inexistência de práticas de conservação. Os resultados obtidos foram associados ao planejamento do território para redução da erosão.

Machado et al. (2009) apresentaram uma proposta de utilização de SIG para delimitação de áreas de potencial erosivo em bacias pela junção de dados digitais de altimetria, climáticos e imagens orbitais para identificação de classes de uso do solo e práticas conservacionistas. O conjunto destes elementos permitiu a aplicação da EUPS, seguido da elaboração e geração de um produto final na forma de mapa de erosão.

Beskow et al. (2009) verificaram via EUPS e SIG que a bacia do Rio Grande (MG) apresenta perdas de solo por erosão hídrica em níveis críticos em 49% de sua área. Os autores concluíram que a metodologia aplicada dispõe de resultados precisos, pois permitiu a identificação de áreas de maior risco, sendo um elemento de gestão e desenvolvimento com base no potencial de geração de energia hidrelétrica da bacia.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. ÁREA EM ESTUDO**

##### **3.1.1. Histórico**

A área em estudo consistiu na bacia hidrográfica do rio da Prata, situada no município de Castelo, sul do Estado do Espírito Santo. Os municípios vizinhos são Venda Nova do Imigrante (norte), Vargem Alta (leste), Cachoeiro de Itapemirim (sul) e Muniz Freire (oeste).

Trata-se de um município ocupado inicialmente por índios, marcado pela chegada de garimpeiros em busca de ouro no século XVIII, que iniciaram a exploração dos veios auríferos nas localidades de Arraial Velho Caxixe, Salgado, Ribeirão de Meio e Canudal, permanecendo até 1771. Após 1771 começaram a se intensificar a exploração e atividades agropecuárias, inicialmente às margens dos rios Castelo e Caxixe.

Em uma abordagem regional, Silva (1993) destaca o predomínio da imigração italiana, a qual vem assumindo os segmentos de desenvolvimento. De acordo com Vicente et al. (2005), as principais atividades econômicas de Castelo são a mineração, a agropecuária e o turismo.

A mineração é distribuída em 75 empresas de extração e 30 produtoras de minerais não metálicos. Ocorre uma formação rochosa de mármore, o que permite a abertura de várias frentes de lavra deste produto para fabricação de cimento, tintas, corretivos de solo, cal e rochas ornamentais (SILVA, 1993).

Na agropecuária, o município tem a produção do café como principal atividade, sendo considerado o décimo primeiro produtor do Espírito Santo, colhidos no ano de 2001 um total de 27.000 toneladas deste produto, seguido da produção de milho (7.200 toneladas) e feijão (280 toneladas). O café é de plantio diversificado, sendo do tipo arábica em altitudes acima de 600 m e o tipo conilon nas áreas mais baixas (VICENTE et al., 2005).

Destaca-se ainda o crescimento de indústrias produtoras de alimentos, a agroindústria de produtos locais e revenda de insumos e equipamentos agropecuários.

### 3.1.2. Localização e caracterização

A localização da Bacia do Rio da Prata é apresentada na Figura 19, a partir do Estado do Espírito Santo e do Município de Castelo. A bacia da Prata se encontra totalmente inserida no município de Castelo, cuja delimitação política coincide com o seu divisor topográfico. As principais nascentes se localizam ao leste do município e a sua foz em sentido sul.

O clima da região é do tipo tropical, com duas estações bem definidas, uma chuvosa; entre os meses de novembro a abril, e outra seca; entre maio e outubro (SILVA, 1993). A precipitação anual varia entre 1500 mm e 2000 mm, sendo a última comum nas regiões mais elevadas.

Silva (1993) caracterizou o relevo da região a partir de três principais formações:

- Faixa de Agradação Cachoeiro de Itapemirim-Castelo: variações de altitude entre 80 e 100 m, em domínios dos encaixes dos rios Itapemirim e Castelo, marcado por superfícies suaves, vales abertos e interflúvios abaulados. Muita ação intempérica e raros afloramentos rochosos.
- Feições de Mar de Morros: faixa entre diversos maciços rochosos e serras (Santa Angélica, Castelo, Alto Chapéu, Cobiça e São Vicente), com variações de altitude entre 200 e 900 m. São tipos mais resistentes ao intemperismo, como granitos.
- Remanescentes do Ciclo Sul-Americano: área mais característica e preservada, com processos erosivos em franco desenvolvimento. As altitudes dominantes são em torno de 900 m, com relevos mais suaves, vales de baixo gradiente e drenagens secundarias, interflúvios abaulados e solo espesso.

A vegetação original encontra-se fragmentada em função das atividades antrópicas, principalmente a agropecuária, na forma de pastagens, culturas permanentes e temporárias. De acordo com o RADAMBRASIL (1983) as principais formações originais da vegetação são:

- Região de Floresta Ombrófila Densa: característica de litologia variada e faixa de 0 a 60 dias secos, com variações dos subgrupos Floresta Montana e Floresta Submontana.

- Região de Floresta Estacional Semidecidual: sobre litologia variada em áreas acima de 60 dias secos, sendo de 20% a 50% de espécies caducifólias, com variações dos subgrupos Floresta Submontana e Vegetação Secundária sem Palmeiras.

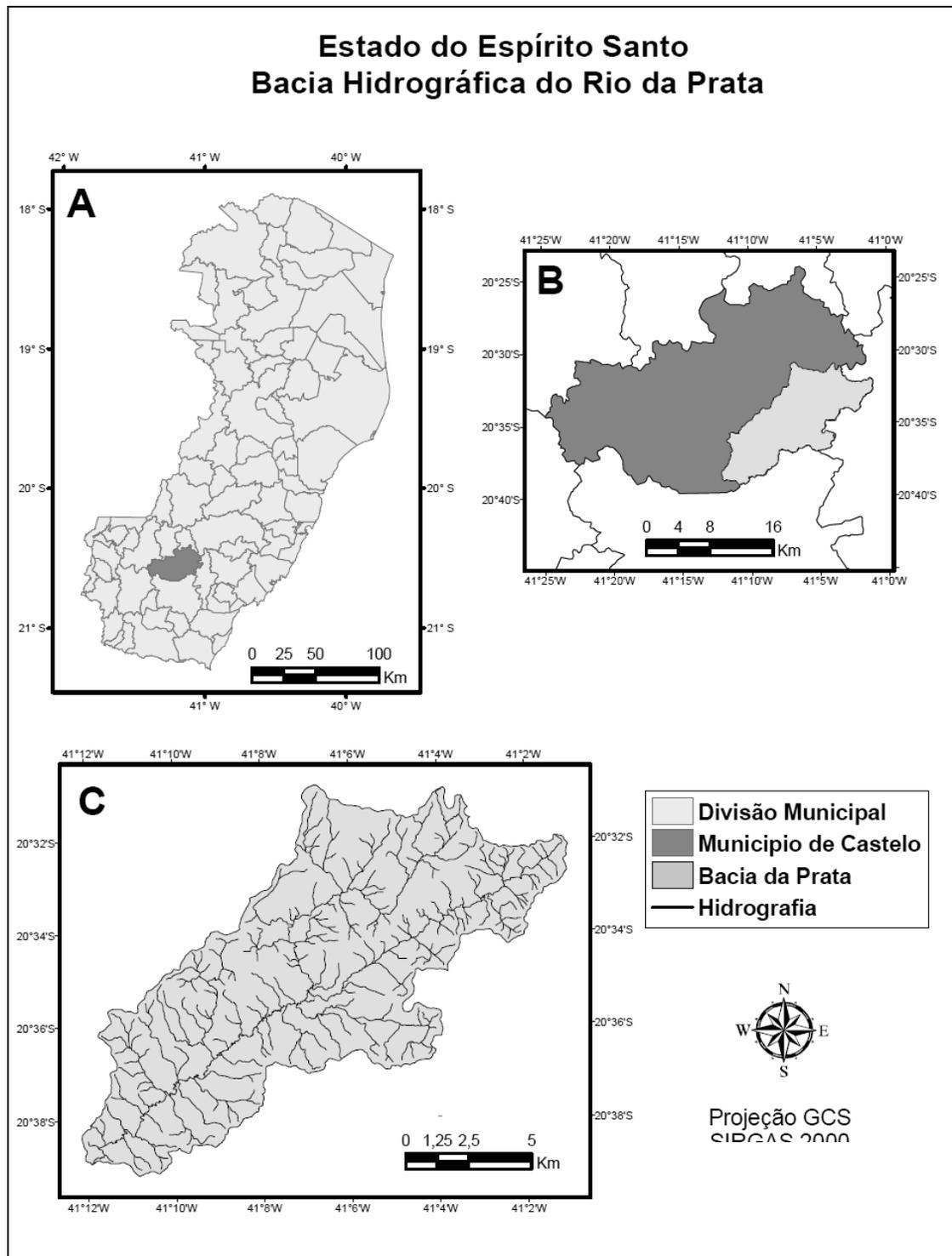


Figura 19 - Localização da área de estudos (A- divisão política do Estado do Espírito Santo, B- Município de Castelo, com a bacia da Prata em seus limites, C- delimitação e rede de drenagem da bacia da Prata).

### 3.2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E BASES DE DADOS UTILIZADAS

Foram utilizados dois programas computacionais baseados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sendo estes o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING 5.1.2); disponível no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), utilizado para os trabalhos e etapas de sensoriamento remoto, e o ArcGIS 9.2®; utilizado para a geração dos MDE's, sobreposição de mapas de formato *Raster* e geração de mapas.

#### 3.2.1. Base de dados planialtimétricos

Os dados cartográficos utilizados foram:

- *Layers* advindos das cartas digitais de altimetria e de hidrografia originais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, sendo utilizada a folha SF-24-V-A-V-2 em escala 1: 50.000, editada em 1978, os quais são aqui tratados por base cartográfica;
- Dados de altimetria das imagens orbitais *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Monitoramento por Satélite), os quais se encontram em formato matricial e de grade numérica (MIRANDA, 2005), aqui tratados por dados de altimetria. A imagem SRTM utilizada foi a SF-23-X-B, a qual tem uma resolução espacial original de 90m x 90m. Esta imagem foi importada para o SPRING, originalmente no formato de grade, e transformada em linhas de altimetria com equidistância de 20mx20m.

#### 3.2.2. Base de dados referentes ao uso do solo

Para o suporte na delimitação manual da bacia e identificação das classes de uso e ocupação do solo foram utilizadas as fotografias aéreas obtidas pelo aerolevanteamento realizado em junho de 2007 pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (IEMA). Das informações técnicas das aerofotos constam: escala 1: 35.000 referente ao aerolevanteamento e 1:15.000 referente ao ortofotomosaico, articulação de 540 blocos de imagens de 10km x 10km e resolução espacial de

1m x 1m, Padrão de Exatidão Cartográfica classe A, considerado de altíssima precisão devido ao erro de posicionamento máximo de 7,5 m.

De posse das imagens georeferenciadas foram geradas as classes de uso e ocupação do solo com base nos princípios de fotointerpretação propostos por Novo (1989). Os alvos identificados foram delimitados pela confecção de linhas, seguido de sua poligonalização e associação aos tipos de alvos pelo espaço de atributos. Criou-se um *shapefile* de linha para delimitação das classes, convertido para polígono, seguido da associação das classes aos polígonos pelo espaço de atributos.

Os procedimentos adotados para representação de tipos de cobertura e uso e ocupação do solo são apresentados na Figura 20.



Figura 20 - Procedimentos para mapeamento de uso e o ocupação do solo.

A Figura 21 demonstra, a partir de aerofotos, as principais formas de uso do solo verificadas na bacia. As cenas são originais das aerofotos utilizadas, sendo:

- Cena 21-1: a foz da bacia hidrográfica, que desemboca no Rio Castelo, onde a principal forma de uso do solo é por pastagem degradada, classificada como pasto sujo.
- Cena 21-2: uso do solo por pastagens em uso, classificada como pasto limpo.
- Cena 21-3: pastagem, cultura de café e fragmento florestal, formas que caracterizam a predominância de uso do solo por atividades agropecuárias.
- Cena 21-4: Pico do Forno Grande, considerado com afloramento rochoso.
- Cena 21-5: reflorestamento, incluso na categoria de floresta.
- Cena 21-6: vegetação rupestre em solo litólico.
- Cena 21-7: área de mineração, incluída na categoria de solo exposto.
- Cena 21-8: ocorrências de edificações, considerada como área edificada.

- Cena 21-9: fragmento florestal, incluso na categoria de floresta.

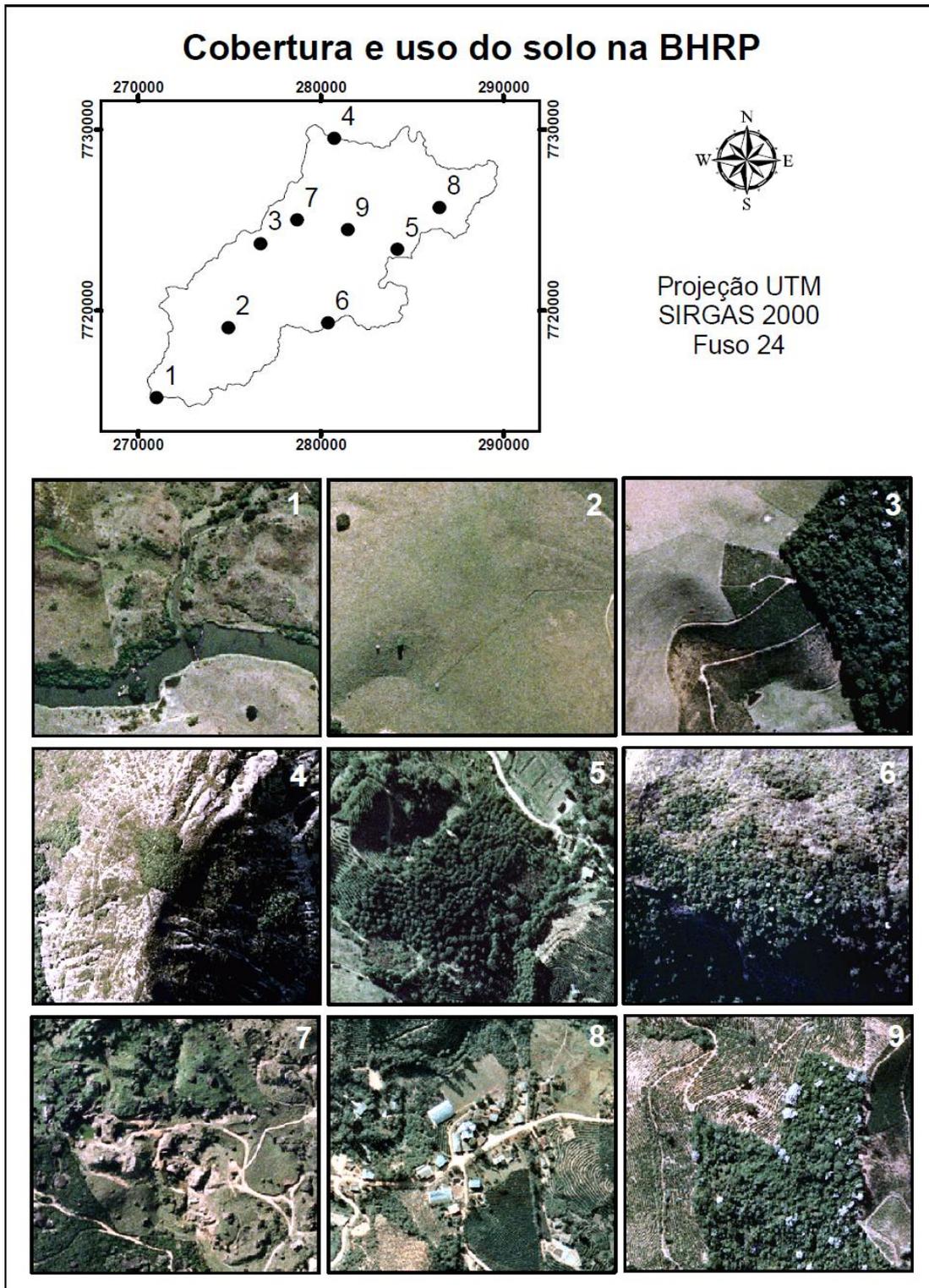


Figura 21 - Diversidade de coberturas e formas de uso do solo identificados pelas aerofotos: (1) Foz da bacia da Prata, (2) área de pastagem, (3) pastagem, café e floresta, (4) Pico do Forno Grande, (5) área de reflorestamento, (6) vegetação rupestre, (7) atividade de mineração, (8) edificação, (9) fragmento florestal e café.

### 3.2.3. Base de dados referentes aos solos

A descrição dos tipos de solos da área de estudos, assim como suas principais propriedades, foram obtidas a partir do mapeamento do RADAMBRASIL (1983), Figura 22. Em função das modificações na nomenclatura de alguns tipos de solos, estes foram adaptados segundo Lepsch (2002), sendo:

- Argissolo (antigo Podzólico Vermelho Escuro Eutrófico), com variações de vermelho e amarelo distrofico, com textura do tipo argilosa e muito argilosa de atividade baixa, horizonte A moderado, relevo forte ondulado e montanhoso. São classificados como argissolos.
- Chernossolo (antigo Brunizém Avermelhado) com variações de podzólico, textura argilosa média, horizonte A moderado, relevo forte ondulado e montanhoso.
- Cambissolo Álico com variações de latossolo, textura argilosa média, horizonte A moderado entre afloramento rochoso, relevo montanhoso e escarpado.
- Latossolo Vermelho Amarelo Álico com variações de latossolo e cambissolo de textura argilosa média, horizonte A moderado, fase pedregosa e não pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso.

Realizou-se o recorte do mapa digital de solos sobre a área de interesse, seguido da adequação da imagem para o formato TIFF, para o reconhecimento no ArcMap, e georreferenciamento da imagem. De uso da imagem georreferenciada, gerou-se um *shapefile* tipo polígono para digitalização das classes e identificação de atributos. Os procedimentos adotados para geração do mapa de solos são representados na Figura 23.

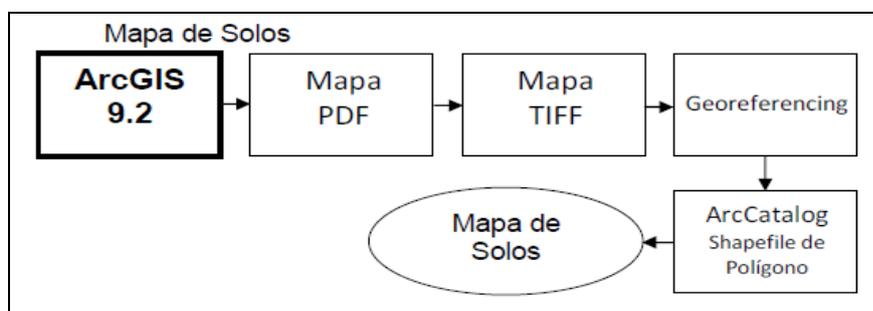


Figura 22 - Procedimentos adotados para geração do mapa de solos.

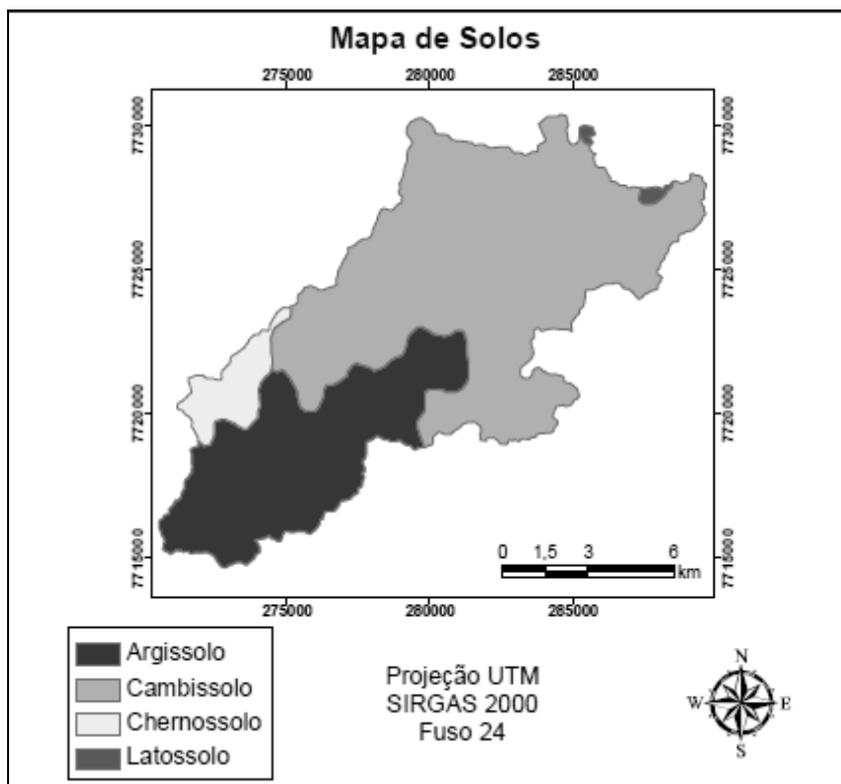


Figura 23 - Mapa de solos da bacia da Prata (RADAMBRASIL, 1983).

### 3.3. DELIMITAÇÃO DA BHRP A PARTIR DO USO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Com o intuito de avaliar as delimitações da BHRP feitas a partir de diferentes MDE's, partiu-se do princípio que a delimitação manual, em carta topográfica, e com suporte de aerofotos, é a forma mais confiável, pois gera um contexto de maior diversidade de recursos e conta com a intervenção direta do pesquisador, sendo, portanto, classificada como a metodologia padrão (D1).

Os MDEs usados consistiram naqueles originários de dados altimétricos matriciais das imagens orbitais *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), e naqueles gerados a partir de interpolação das curvas de nível.

As metodologias de interpolação para representação de superfícies altimétricas a partir das curvas de nível consistiram na transformação da representação vetorial do terreno TIN em modelo digital de elevação (Método do Vizinho Mais Próximo) e no interpolador Topo to Raster ou TOPOGRID (Diferenças Finitas).

As delimitações da BHPR foram feitas de forma automática, utilizando-se os procedimentos propostos por Santos (2007) (utilizando TIN) e Medeiros et al. (2009) (utilizando Topo to Raster).

Desta forma foram avaliados, a partir da comparação com a delimitação padrão (D1), os seguintes modelos digitais de elevação:

- 1) MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por TIN (D2);
- 2) MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, sem suporte de hidrografia (D3);
- 3) MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (D4);
- 4) MDE originário das imagens SRTM (D5);
- 5) MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por TIN (D6); e
- 6) MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por interpolador “Topo to Raster” (D7).

Na sequência são descritos os diferentes procedimentos adotados para as delimitações de bacias hidrográficas.

### 3.3.1. Delimitação manual a partir de curvas de nível do IBGE, com suporte de aerofotos (delimitação padrão – D1)

Adotaram-se os procedimentos padrões para delimitação manual de bacia hidrográfica apresentados no item 2.2.1.1, sendo considerada a identificação da rede de drenagem e a identificação do divisor topográfico.

### 3.3.2. Delimitação automática a partir do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por TIN (D2)

As curvas de nível tiveram seus valores de cota atribuídos a partir do Espaço de Atributos (Attribute Table). Utilizou-se metodologia apresentada por Santos (2007) que consiste em interpolar as curvas de nível do terreno pelo modelo TIN (Triangulação de *Delaunay*) indicando ao sistema os valores de

altimetria na forma de atributo (item 2.6.1.3). Pelo aplicativo Spatial Analyst gerou-se o TIN e este foi convertido para o formato matricial (TIN to Raster).

A delimitação automática foi realizada no ArcMAP (*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Hydrology*) a partir dos procedimentos descritos no contexto de identificação automática de fatores topográficos (item 2.6.2.1) pelos mapas matriciais de elevação (MDE) das bases cartográficas, as quais envolveram procedimentos descritos de acordo com as propostas de Santos (2007) e de Medeiros et al. (2009):

- a) Mapas de MDE hidrológicamente consistente (*Fill*): gerou-se uma nova modelagem do terreno com as depressões de relevo corrigidas;
- b) Mapas de direção de fluxo (*Flow Direction*): foram identificadas as direções de fluxo com base nos menores valores de célula da matriz do MDE;
- c) Mapas de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*): pelo mapa de direção de fluxo gerou-se um mapa de concentração de volume e vazão;
- d) Mapas da rede de drenagem (*Stream Networks*): este procedimento consiste da identificação da rede de drenagem numérica. O mapa de fluxo acumulado é organizado em cinco classes, onde a de maior valor é adotada para representação da hidrografia, e as demais classes são excluídas (*Set Null*); e
- e) Delimitação das bacias (*Basin - Watershed*): delimitação das bacias a partir do mapa de direção de fluxo, sendo necessária uma classificação para adequação, indicação do ponto que represente a foz da seção.

Os demais processos de delimitação automática seguiram os procedimentos descritos neste item, sendo a diferença entre os mesmos apenas os respectivos MDE's utilizados para delimitação da bacia hidrográfica.

### 3.3.3. Delimitação automática a partir do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador "Topo to Raster", sem suporte de hidrografia (D3)

Adotaram-se os procedimentos de interpolação das curvas de nível originárias da base cartográfica do IBGE por meio do interpolador "Topo to Raster" (*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Interpolation - Topo to Raster*), o qual consiste da geração de MDE com as depressões do terreno corrigidas.

#### 3.3.4. Delimitação automática a Partir do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (D4)

Este procedimento adota os passos do item 3.3.3, com a diferença de indicar as ocorrências hidrológicas identificadas pela carta topográfica, o que minimiza as chances de inclusão de canais da hidrografia que pertencem a bacias hidrográficas vizinhas. A hidrografia foi adicionada com a opção *stream*.

#### 3.3.5. Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM base SRTM original (D5)

Gerou-se uma delimitação automática a partir do MDE original de SRTM com resolução espacial de 90 m x 90 m, uma vez que já se dispunha de uma superfície altimétrica em formato matricial não foi necessário gerar uma representação por interpolação.

Para esta delimitação seguiu-se os procedimentos descritos no item 3.3.2, que consistem da geração de um MDEHC por filtragem do MDE original, indicação da direção de fluxo, do fluxo acumulado, formação da rede de drenagem, e por fim a delimitação da área da bacia hidrográfica.

#### 3.3.6. Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por TIN (D6)

Uma vez que Torres et al. (2006) consideram a interferência do tamanho da resolução espacial para inclusão e exclusão de áreas, e sugerem o refinamento do MDE para geração de melhores resultados, foi utilizado o processo de refinamento proposto pelos referidos autores. Os dados de SRTM foram inicialmente trabalhados no SPRING pelas etapas de importação do arquivo original em formato TIFF de grade numérica, seguido da geração de isolinhas em formato *shapefile*, com objetivo de adequar a resolução ao erro médio quadrático compatível com a escala adotada e evitar a exclusão ou inclusão de grandes áreas durante o processo de delimitação automática (TORRES et al., 2006; ALCARAZ et al., 2009).

A partir das curvas de nível, obtidas dos dados originais de SRTM pela geração de isolinhas no SPRING, gerou-se novo MDE refinado no ArcGIS, com

resolução espacial de 10 m x 10 m. As curvas de nível foram interpoladas por TIN, e modificadas para formato matricial com a nova resolução. A partir deste MDE seguiram-se os procedimentos de correção por filtragem e delimitação da bacia hidrográfica.

O método de interpolação de dados de altimetria, a geração do MDE e sua correção e a delimitação da área de drenagem seguem os procedimentos adotados no item 3.3.2.

### 3.3.7. Delimitação automática a partir do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por interpolador “Topo to Raster” (D7)

Esta metodologia foi muito semelhante ao item anterior, tendo como única diferença o fato de que as curvas de nível foram interpoladas por meio do método “Topo to Raster”. Considera-se importante frisar a não adoção de interpolação via suporte de hidrografia, uma vez que os dados de altimetria SRTM não dispõem originalmente de rede hidrográfica, ao contrário dos dados do IBGE.

A geração do MDE e a delimitação da bacia hidrográfica desta etapa seguiu os procedimentos descritos no item 3.3.3.

## 3.4. AVALIAÇÃO DAS DELIMITAÇÕES DA BHRP REALIZADAS

Segundo Cuartero et al. (2001), citado por Pires et al. (2005), a avaliação da precisão de um MDE pode ser realizada por diversos procedimentos, o que inclui reconhecimentos visuais, validações cruzadas, superposição de curvas de nível e pela comparação estatística com pontos de controle.

Como critério para escolha do melhor procedimento de representação de dados altimétricos (MDE) da bacia hidrográfica em estudos utilizaram-se:

- a) Valores de altitude máxima e mínima dos MDE's;
- b) Análise visual do traçado dos divisores de água; e
- c) Cruzamento de hidrografia mapeada com a hidrografia numérica.

A delimitação e o MDE que apresentaram os melhores resultados nestes procedimentos foram utilizados para o desenvolvimento das demais etapas propostas, que são a delimitação de APP e a estimação das perdas de solo.

#### 3.4.1. Valores de altimetria

Este procedimento consiste em verificar a eficiência dos diferentes interpoladores para geração de superfícies altimétricas, tendo por base os valores de altitude máxima e mínima da área da bacia conforme a carta topográfica (D1) (PINHEIRO, 2006). Entende-se que os valores de altitude podem variar em função dos dados de altimetria e do procedimento de geração do MDE (PINHEIRO, 2006; TORRES et al., 2006). Os valores de altitude máxima e mínima podem influenciar, respectivamente, a passagem do divisor topográfico nas maiores altitudes e na identificação da foz.

#### 3.4.2. Análise visual do traçado dos divisores de água

Este procedimento permitiu a comparação visual das delimitações geradas, de forma a avaliar o desempenho de cada método de delimitação.

Redivo et al. (2002), utilizaram procedimento semelhante para comparação da eficácia dos interpoladores (TIN, TOPOGRID, Krigagem e IQD) para a delimitação de bacia hidrográfica, tendo por referência o modelo gerado por TOPOGRID com suporte de hidrografia.

#### 3.4.3. Cruzamento das hidrografias

Foram realizados cruzamentos de hidrografias para comparação da original da carta topográfica (hidrografia mapeada) com aquelas geradas a partir dos MDE's avaliados (hidrografias numéricas). A hidrografia mapeada (D1) foi modificada para o formato Raster (resolução de 10m x 10m), o que permitiu a subtração desta a partir das demais.

Pelo uso da Calculadora Raster, foram realizados procedimentos de subtração entre as hidrografias (mapeada e as numéricas). Estes

procedimentos geraram novos *layers*, nos quais constam apenas as representações comuns entre hidrografia mapeada e numérica.

De acordo com Redivo et al. (2002) as diferenças da vetorização das hidrografias podem ocorrer em função dos diferentes valores de células dos MDE's gerados. Pires et al. (2005) utilizaram este procedimento para avaliar as coincidências das representações de redes hidrográficas por meio da sobreposição de células (*pixels*).

### 3.5. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Com base nos parâmetros determinados na legislação, foram delimitadas, em ambiente de SIG, as áreas destinadas à preservação permanente a partir das representações cartográficas de hidrografia e do relevo. Procedimentos similares foram realizados por Nascimento et al. (2005); Ribeiro et al. (2005); Pinheiro e Cabral (2007); Stempniak et al. (2009). Adotou-se a seguinte seqüência de procedimentos para delimitação das áreas de preservação da BHRP:

- Topos de morros: foram gerados pelo MNT do SPRING (MNT – Extração de Topos), pela categoria numérica ativa e indicação de uma categoria temática onde será gerada a delimitação. Adotou-se o modelo grade, indicando os valores de cota mais alto e mais baixo da elevação, e o sistema gera a delimitação referente ao terço superior (CÂMARA et al., 1996).
- Declividade acima de 45° de inclinação: a partir do mapa de declividade em graus, converteu-se no SPRING o mapa de formato Raster para polígono (Matriz-Vetor), utilizando a opção Suavização de Arcos.
- APP dos canais: no ArcGis gerou-se um Buffer (ArcToolbox – Analysis Tools-Proximity) a partir dos canais. Considerando que todos os canais, de acordo com as aerofotos e layers de hidrografia, tem largura inferior a 10m, adotou-se a largura de trinta metros para o Buffer.
- APP das nascentes: foram identificadas a partir da criação de um *shapefile* de pontos (*ArcCatalog*), e editados pela ferramenta *Edit* com auxílio da opção *snapping*, o qual atrai o cursor para as extremidades das linhas de hidrografia. A partir da identificação das nascentes por pontos, gerou-se um Buffer de 50 m (SANTOS, 2007).

- APP total: a opção *Dissolve* (*ArcToolbox – Data Management Tools – Generalization*) permitiu a junção de todos o polígonos referentes a APP, obtidos pelos diferentes critérios, em um único polígono, o que possibilitou a mensuração precisa de toda área prevista para preservação.

A seqüência de procedimentos adotados para identificação das áreas de preservação constam na Figura 24.

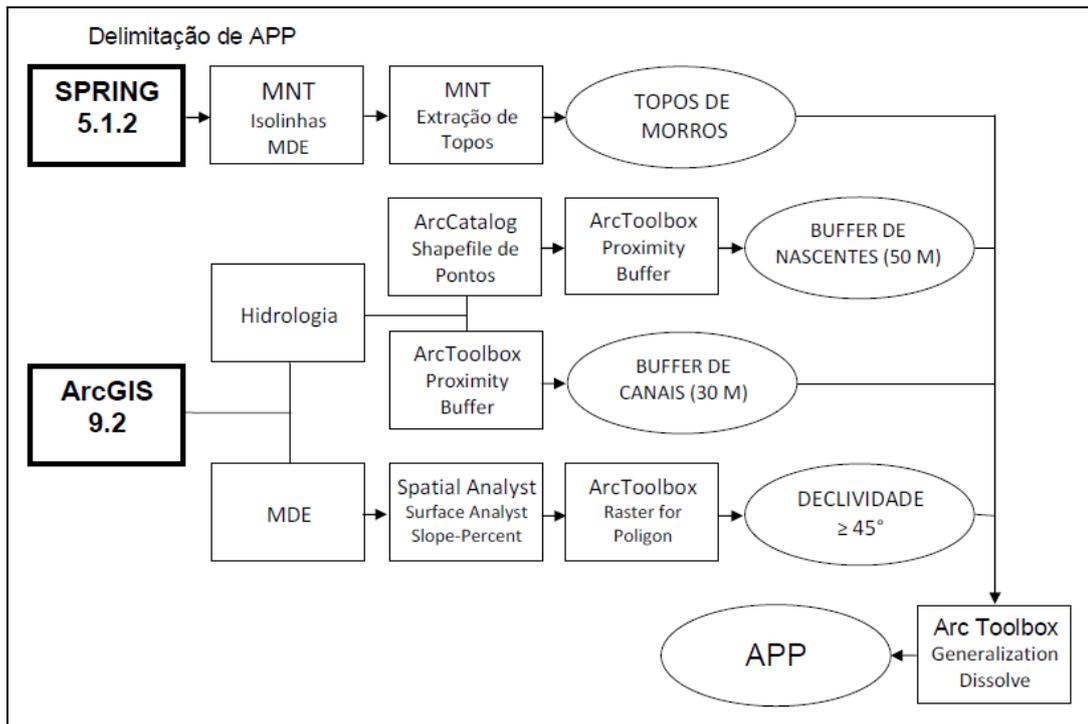


Figura 24 - Procedimentos adotados para delimitação de APP.

### 3.6. ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DA PRATA

A erosividade anual da chuva (fator R) foi obtida a partir do aplicativo NetErosividadeES, sendo utilizada as coordenadas geográficas S 20°35' e W 41°07', para a altitude média de 593m, referente ao centróide da bacia da Prata.

Para identificação do fator K (erodibilidade do solo) consideraram-se as propostas de diversas fontes (Tabela 1), de acordo com o tipo de solo. Mannigel et al. (2002), Silva e Alvares (2005), Silva et al. (2008), Costa et al. (2009) utilizaram metodologia semelhante para identificação do fator K para predição de erosão em bacia via EUPS.

Tabela 1 - Valores de erosividade (fator K) para bacia da Prata

Solo	Erodibilidade t ha <sup>-1</sup> (MJ ha <sup>-1</sup> mm h <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup>	Fonte
Argissolo	0,034	Bertoni e Lombardi Neto (2005)
Cambissolo	0,039	Silva e Alvares (2005)
Chernossolo	0,024	Beskow et al. (2009)
Latossolo	0,017	Bertoni e Lombardi Neto (2005)

Constatou-se a grande dificuldade expressa na literatura no que se refere à obtenção do fator LS (comprimento e grau do declive), o que levou à adequação da Equação 3 ao ambiente SIG (Calculadora Raster).

Para o seguimento da proposta foi necessário obter individualmente o fator comprimento de rampa ( $\lambda$ ) de cada pixel a partir da Equação 5.

$$\lambda = \sqrt{Px^2 + [(D/100) * Px]^2} \quad (5)$$

em que:

$\lambda$  = comprimento de rampa;

Px = tamanho do pixel (10 m); e

D = declividade do terreno (%).

A metodologia adotada para geração do mapa de LS consistiu da adoção de uma equação mais objetiva (Equação 3), proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2005), também utilizada por Corrêa e Dedeczek (2009). O mapa gerado representa *pixel a pixel* o resultado final, com base no comprimento de rampa e na declividade. A adaptação desta equação para ambiente SIG se pautou na metodologia proposta Silva (2003).

Para o uso e manejo dos solos (fator C) foram atribuídos os pesos às classes de uso do solo, Tabela 2, de acordo com a proposta de Mitchell e Bubenzer (1980), citados por Silva et al. (2003), e adaptados para ambiente SIG. Este fator foi utilizado de duas formas, sendo a primeira com base na utilização real do solo, pautado na delimitação das classes por fotointerpretação (item 3.2.2), e a segunda pelo mapa que simula a adoção de áreas de preservação (item 3.5). Este procedimento foi também adotado por Serio et al. (2008), Beskow et al. (2009) e Machado et al. (2009).

O fator de práticas conservacionistas (P) foi considerado inexistente, sendo adotado o valor 1. A generalização dos valores de práticas conservacionistas foi também adotada por Serio et al. (2008) e Beskow et al. (2009).

Tabela 2 - Valores de erosividade pelo uso do solo (fator C) para bacia da Prata (adaptado de BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005)

<b>Classe</b>	<b>C (adimensional)</b>
Afloramento	0,001
APP*	0,001
Cultura Permanente	0,250
Cultura Temporária	0,650
Edificação	0,001
Floresta	0,001
Pasto Limpo	0,100
Pasto Sujo	0,010
Solo Exposto	1,000
Vegetação Rupestre	0,010

\* Fator utilizado nas simulações de adoção de APP

A Figura 25 representa os procedimentos adotados para geração dos mapas de estimativa de perdas de solos na bacia.

De posse dos fatores que interferem no processo erosivo (erosividade da chuva, erodibilidade dos tipos de solos, comprimento e grau do declive, formas de uso do solo e práticas de manejo) estimaram-se as perdas de solos pela aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) (Equação 1). Este processo constou de duas simulações, sendo uma de acordo com as condições reais de uso e ocupação do solo (E1) e outra com base na simulação de respeito às APPs (E2) propostas do Código Florestal Brasileiro (Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965).

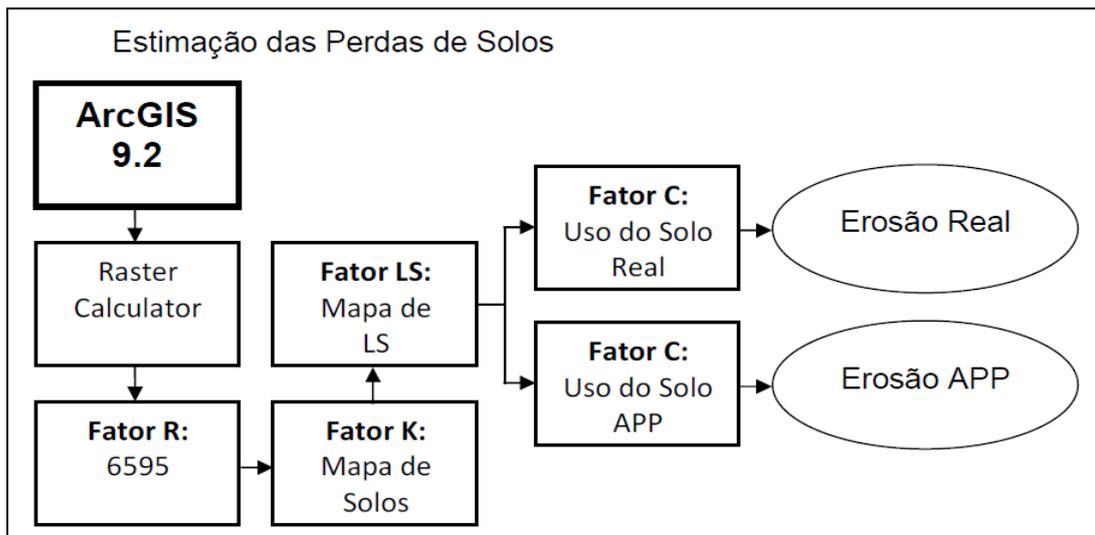


Figura 25 - Procedimentos adotados para geração dos mapas e estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na bacia da Prata.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. AVALIAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DA BHRP FEITA A PARTIR DO USO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

##### 4.1.1. Análise dos valores de altimetria

A Tabela 3 apresenta os valores de área de drenagem, altitude máxima e altitude mínima obtidos nas delimitações da BHRP realizadas com os diferentes MDE's e por meio da delimitação padrão.

Os valores de área de drenagem ilustrados indicam que aquela mais próxima á área calculada quando da delimitação padrão (D1 - 132,28 km<sup>2</sup>) foi conseguida a partir do uso do MDE gerado a partir da interpolação pelo interpolador Topo to Raster com o suporte da hidrografia (D4 – 132,33 km<sup>2</sup>).

Tabela 3 - Valores de área e altitude da bacia da Prata a partir de diferentes bases de dados altimétricos e interpoladores

<b>Código</b>	<b>Modelo</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Alt. Máxima (m)</b>	<b>Alt. Mínima (m)</b>
D1	IBGE Manual	132,28	entre 2020 e 2040	entre 60 e 80
D2	IBGE TIN	133,64	2020	80
D3	IBGE TR	132,39	2031	70
D4	IBGE TRHD	132,33	2031	82
D5	SRTM (90m)	134,66	1977	100
D6	SRTM TIN	137,54	1980	100
D7	SRTM TR	131,57	1986	72

Desta forma, este resultado corrobora com aquele encontrado por Pires et al. (2005), que obtiveram menor erro a partir da geração de um MDE pelo interpolador TopoGrid (Topo to Raster na versão ArcGIS 9.2). Por outro lado, Medeiros et al. (2009) geraram MDEs a partir de dados cartográficos e dados de SRTM, via uso de distintos interpoladores (TopoGrid, TIN e IDW) e obtiveram produtos finais de grande similaridade diante comparação de seus valores, mas com os melhores resultados a partir dos dados de radar, e o segundo melhor resultado foi pelo interpolador TopoGrid, de certa forma, corroborando também os resultados aqui obtidos, quando se comparam apenas as formas de interpolação das curvas de nível do IBGE..

As delimitações realizadas a partir das imagens de radar apresentaram os valores de área mais contrastantes (Tabela 3), mesmo quando da adoção

do refinamento da resolução espacial. As maiores disparidades verificadas estão nas delimitações D6 (137,54 km<sup>2</sup>) e D7 (131,57 km<sup>2</sup>), sendo este último considerado o mais satisfatório dentro desta categoria, devido à maior proximidade de valor de área em relação à delimitação manual pela carta topográfica.

Pela Tabela 3, verificou-se que determinados valores de altitude máxima de MDE estão acima ou abaixo dos valores originais das curvas hipsométricas adotados para D1. As delimitações D3 e D4 apresentaram altitude máxima (2031 m) compatível com a da delimitação manual, o que se justifica pelas tentativas de ajuste do relevo pelo interpolador “Topo to Raster” para compensação da continuidade da elevação (ESRI, 2006). Este processo não é verificado no interpolador TIN, pois este apenas interliga as curvas, e determina valores de distância entre estas (CÂMARA et al., 2001; NAMIKAWA et al., 2003), podendo desconsiderar a ocorrência de topos e vales.

Os dados de SRTM apresentam altitudes máximas de grande contraste, variando entre 1977 metros (D5), provavelmente devido ao maior tamanho de *pixel* e 1986 metros (D7), mais elevado devido ao uso do “Topo to Raster”.

De acordo com Moreira (2005), os dados de radar são oriundos de sensores ativos que se pautam no envio e retorno de sinal, cuja intensidade é proporcional ao nível de cinza registrado. O sinal de retorno está sujeito a respostas distintas devido a sua interação com as diferentes ocorrências da superfície (relevo, vegetação, hidrografia), o que pode omitir ou exagerar na representação do relevo por ocorrências de *pixels* de valor muito alto e muito baixo em um mesmo alvo.

Considera-se importante a observação dos valores de altitude mínima, pois se referem à foz da bacia. A partir dos dados do IBGE constam as menores disparidades de altitude mínima, em que a foz de D2 (80m) apresentou resultado igual a delimitação manual pela ligação direta entre isolinhas. O menor valor gerado desta classe em D3 (70m) e o maior em D4 (82m) se justificam pelo modelo adotado, TR e TRHD respectivamente, sendo este último passível de análise mais detalhada pela identificação da foz com base na confluência dos rios.

Os dados de radar apresentaram maiores contrastes de altitude mínima, sendo 100m para D5 e D6, em função de tamanho do pixel (90m) e modelo de triangulação dos valores de altitude das isolinhas, respectivamente, considerados os piores resultados. O modelo D7 (72 m) apresentou resultado ainda melhor que o mesmo modelo (TR) aplicado a carta topográfica (D3 – 70m) o que pode confirmar a eficiência dos dados SRTM.

#### 4.1.2. Análise visual dos divisores topográficos

Os procedimentos a seguir se pautam em interpretação visual. Na Figura 26 se encontram ordenadas as delimitações e as redes hidrográficas de todos os procedimentos adotados.

Na Figura 26, as cenas A, B, C e D são as delimitações D1, D2, D3 e D4 respectivamente. As cenas E, F e G são, respectivamente, as delimitações D5, D6 e D7. Os resultados obtidos por Torres et al. (2006) expressam a importância do refinamento das imagens de radar para delimitação de bacias, o que se confirmou na adoção desta metodologia (D6 e D7)

Na Figura 27 são comparadas todas as delimitações (linha tracejada) a partir de sua foz e hidrografia (linha preta) com a delimitação manual (27-A) da carta (linha cinza grossa). Em uma análise da foz de todas as bacias geradas e comparadas com a delimitação padrão (manual a partir da base do IBGE), verificou-se que os métodos de delimitação automática geraram erros de exclusão de áreas de contribuição direta para o canal principal e deslocamentos da foz. Isto se deve a indicação da foz para o SIG a partir de um ponto, o que nem sempre é compatível com a representação visual, sendo necessários deslocamentos do ponto. Este procedimento pode ocasionar exclusão ou inclusão de áreas (TORRES et al., 2006).

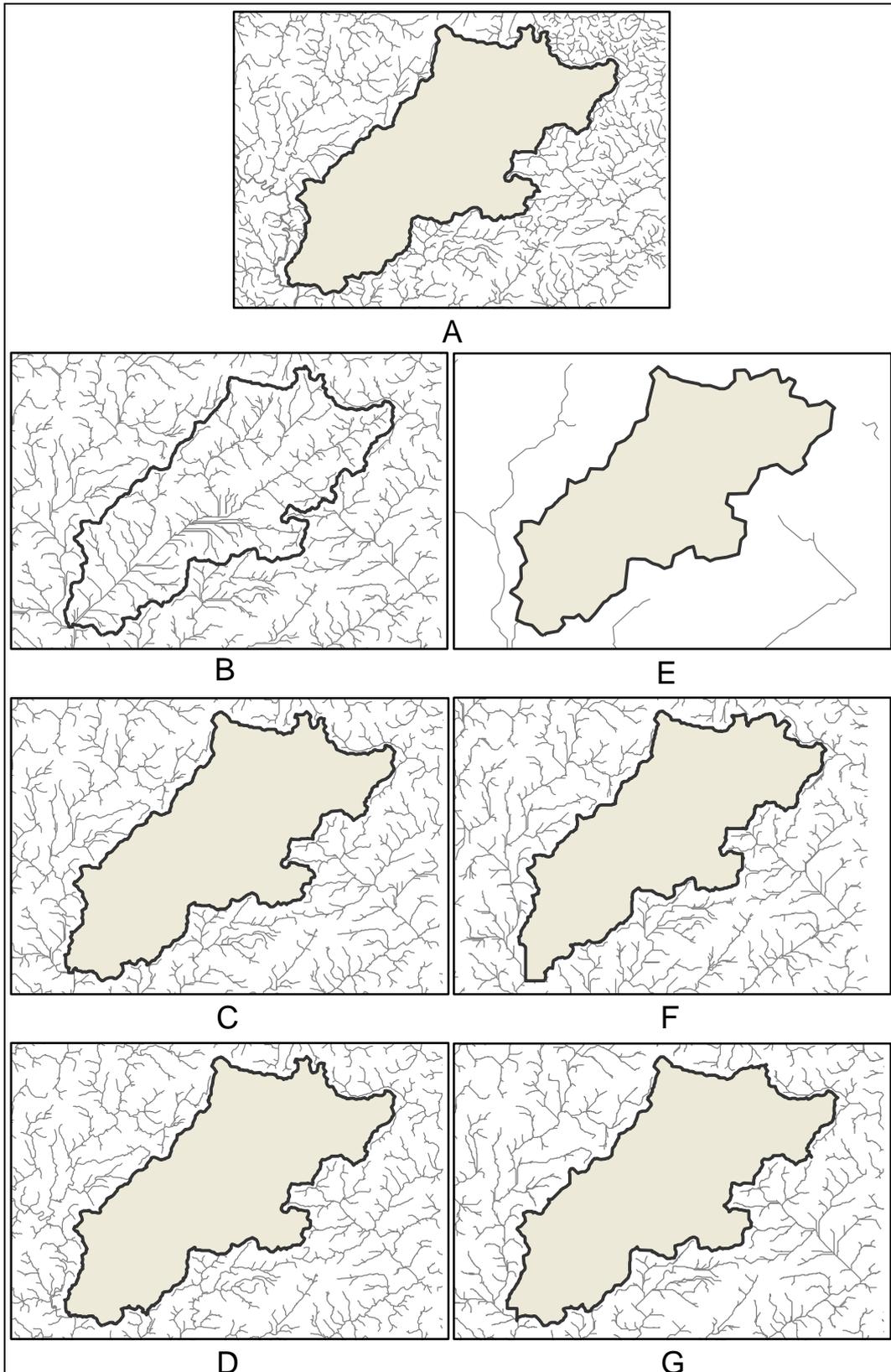


Figura 26 - Comparação visual das delimitações e das hidrografias geradas pela carta, com as geradas por MDE (A- manual, B- TIN, C- TR, D- TR com hidrografia) e SRTM (E- automática em resolução original 90mx90m, F- TIN, G- TR).

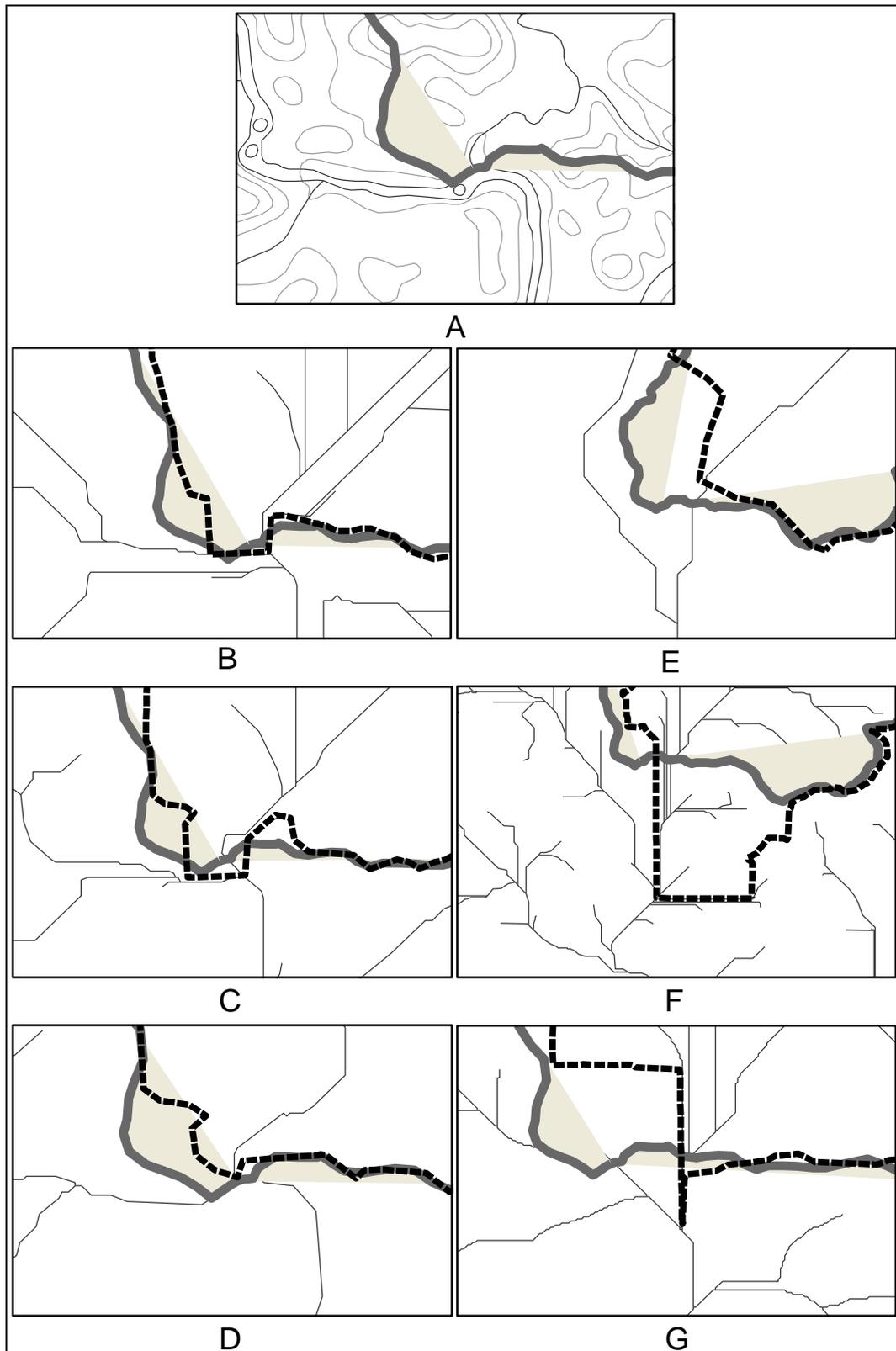


Figura 27 - Comparação visual da localização da foz gerada pela carta, com as geradas por MDE (A- manual, B- TIN, C- TR, D- TR com hidrografia) e SRTM (E- automática em resolução original 90mx90m, F- TIN, G- TR).

As cenas B, C e D da Figura 27 são das delimitações de carta topográfica por TIN, TR e TRHD, respectivamente, as quais apresentam os

menores erros visualmente identificáveis na foz da bacia. As delimitações geradas a partir de imagens de radar (cenas E, F e G, da Figura 27) apresentam os erros mais nítidos, sendo o principal na resolução original de 90m (27-E) pelo grande deslocamento do ponto para identificação do início da área de drenagem. Outro erro bastante nítido é o do MDE originário das imagens SRTM (27-F) devido à descaracterização da hidrografia por linhas retilíneas na área plana. A cena 27-G, MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por interpolador “Topo to Raster”, apresenta erros semelhantes à interpolação TIN por linhas retilíneas nas áreas planas.

A Figura 28 apresenta os erros mais nítidos verificados na comparação entre os processos D1 (linha cinza contínua) e D2 (linha preta pontilhada) apresentados em conjunto com os erros nomeados a partir de letras e seqüencialmente por cena com base em cada observação.

A análise visual da Figura 28 indica que os principais erros entre delimitação manual (D1) e automática a partir de TIN (D2) a partir de dados de mapeamento são:

- Nas cenas 28-A e 28-D ocorrem erros de exclusão de áreas pela delimitação automática. Considerando as delimitações com base nos topos de morro e MDE ambas estão corretas, entretanto, foram desconsideradas as representações das redes hidrográficas.
- a cena 28-B ocorre inclusão de área e de parte da hidrografia da bacia vizinha.
- As cenas 28-C e 28-E apresentam seqüências de pequenos erros, mas não menos importantes, de inclusão e de exclusão.

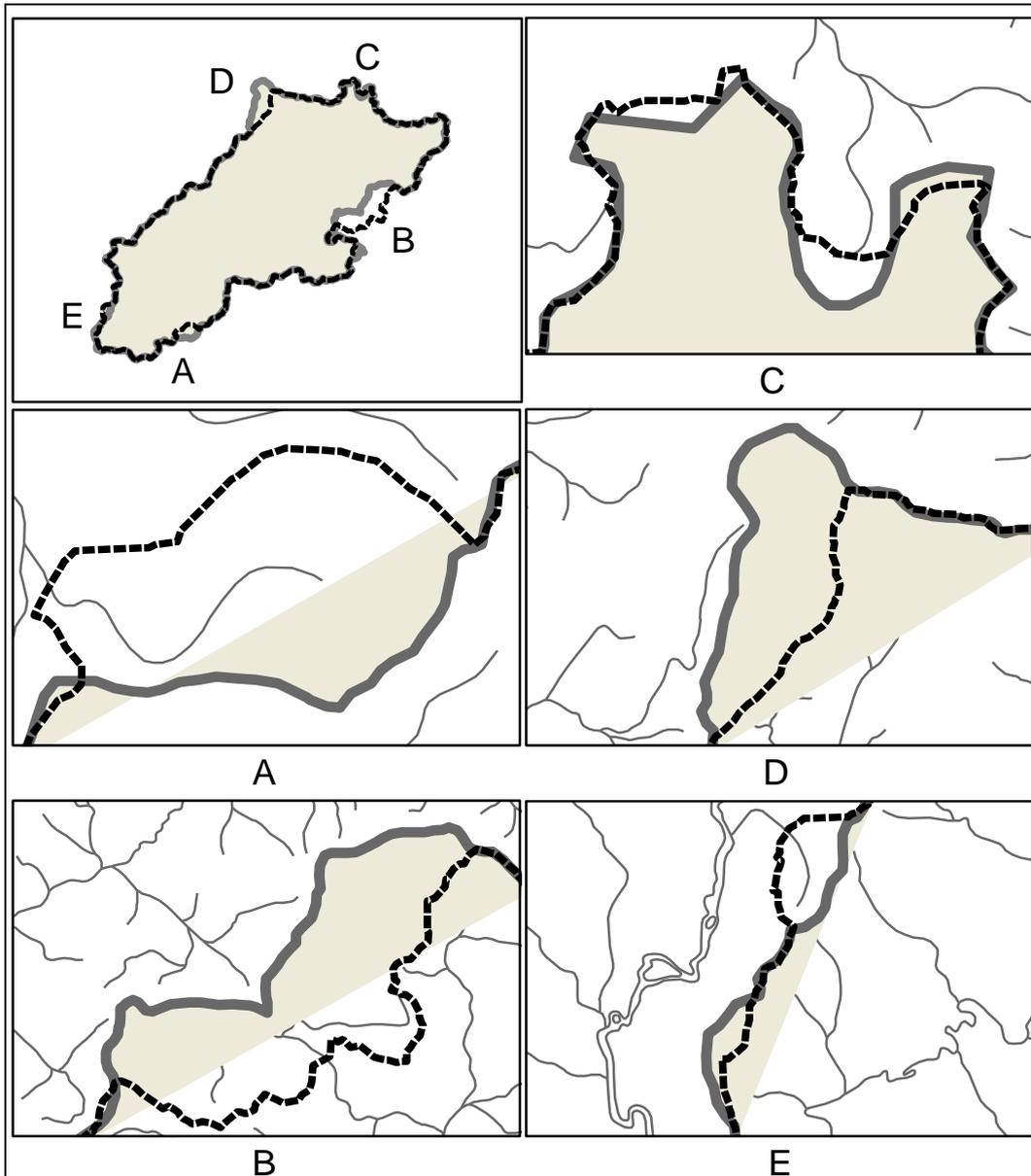


Figura 28 - Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TIN a partir de dados de mapeamento (A e D- exclusão de área e canal, B e E- inclusão de área e canal, sequência de inclusões e exclusões de área).

Tais erros podem estar associados ao princípio do interpolador TIN, uma vez que a ligação direta entre de curvas de altimetria pode desconsiderar vales estreitos, mesmo pela adoção de pixels de menor resolução.

Os erros verificados entre a delimitação manual (D1) e a do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador "Topo to Raster", sem suporte de hidrografia (D3), são verificados na Figura 29.

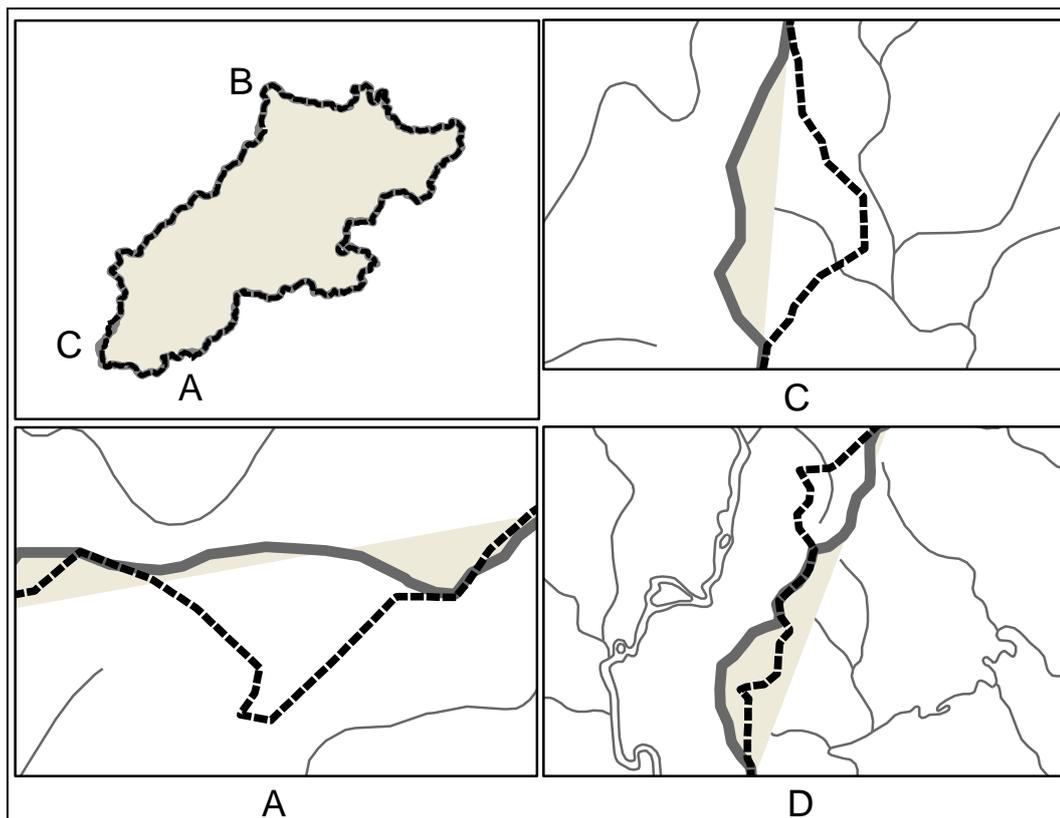


Figura 29 - Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TR a partir de dados de mapeamento (A- inclusão de área, B indica exclusão de área e canal, C- inclusão de área e canal e exclusão de área).

Pela Figura 29, nota-se uma diminuição significativa de erros entre D1 e D3, em relação à comparação de D1 e D2, com poucos cortes ou inclusões de áreas e de cursos da hidrografia, sendo os erros mais nítidos:

- A cena 29-A indica um erro de inclusão de área.
- A cena 29-B indica exclusão de área e passagem do divisor sobre um canal.
- A cena 29-C indica uma sequência de inclusão de canal e de área de bacia vizinha, e abaixo uma exclusão de área.

Na Figura 30 constam as diferenças verificadas entre a delimitação manual e a do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (TRHD).

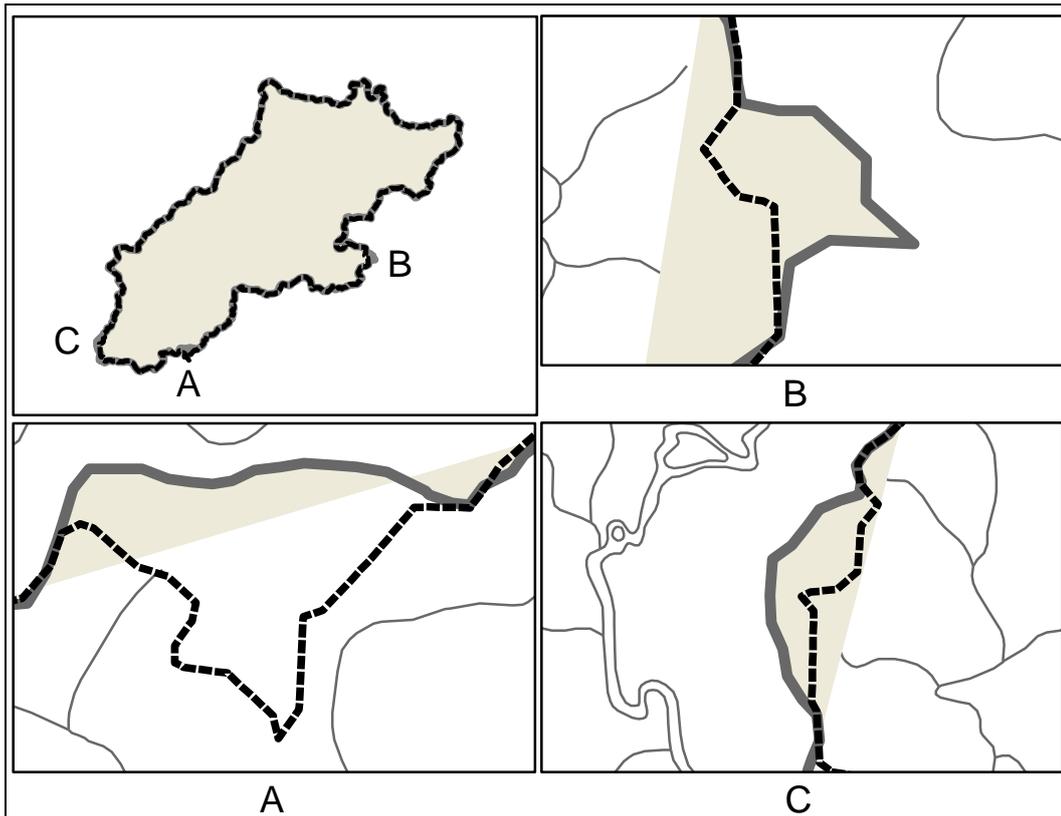


Figura 30 - Comparação entre delimitação manual e delimitação de MDE de TRHD a partir de dados de mapeamento (A- inclusão de área, B e C- exclusão de áreas).

Esta foi a delimitação (D3) que apresentou os menores, ou menos significativos, erros em relação à delimitação manual, com base na comparação de dados de mapeamento, sendo estes:

- A cena 30-A indica uma inclusão de área.
- As cenas 30-B e 30-C indicam exclusão de áreas por esta delimitação.

Este último procedimento, com base nos dados de mapeamento, foi considerado o de menor erro de área em relação à delimitação manual, e que mostrou um grande diferencial por não traçar o divisor topográfico sobre a rede hidrográfica da bacia e por não incluir canais de bacias vizinhas.

As Figuras 31, 32 e 33 demonstram os resultados das comparações entre dados de mapeamento e dados obtidos pelas imagens de radar.

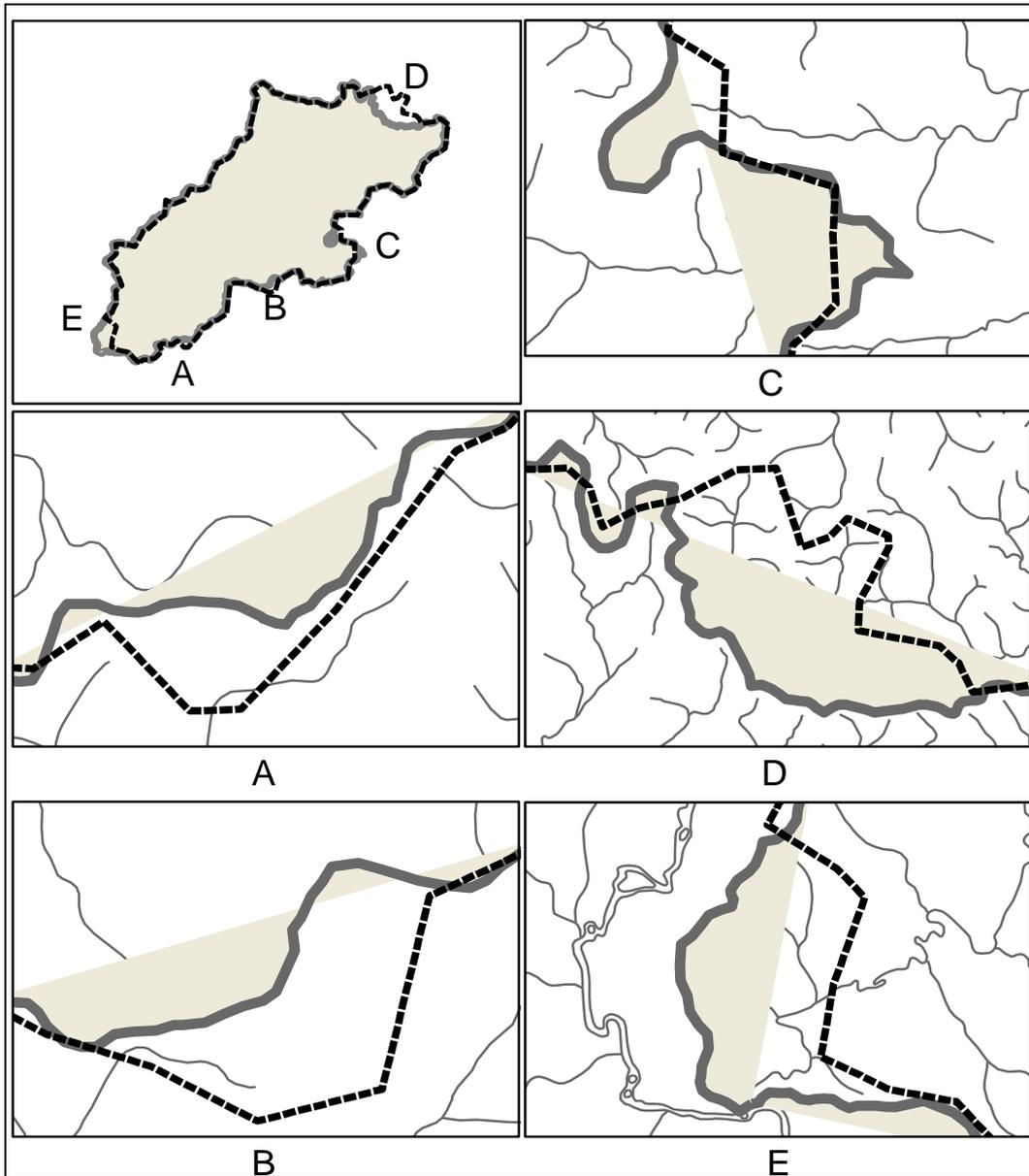


Figura 31 - Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de original de dados de radar.

Na figura 31 constam os erros a partir da comparação entre a delimitação padrão (D1) e a delimitação automática a partir dos dados originais de radar (D5), na qual se verificam os principais erros:

- As cenas 31-A e 31-B apresentam os erros mais nítidos de inclusão de área e canal de bacia vizinha.
- Nas cenas 31-C e 31-D verifica-se uma sequência de erros de inclusões de áreas e canais das bacias vizinhas.
- A cena 31-E apresenta uma exclusão de área de bacia vizinha próximo a foz.

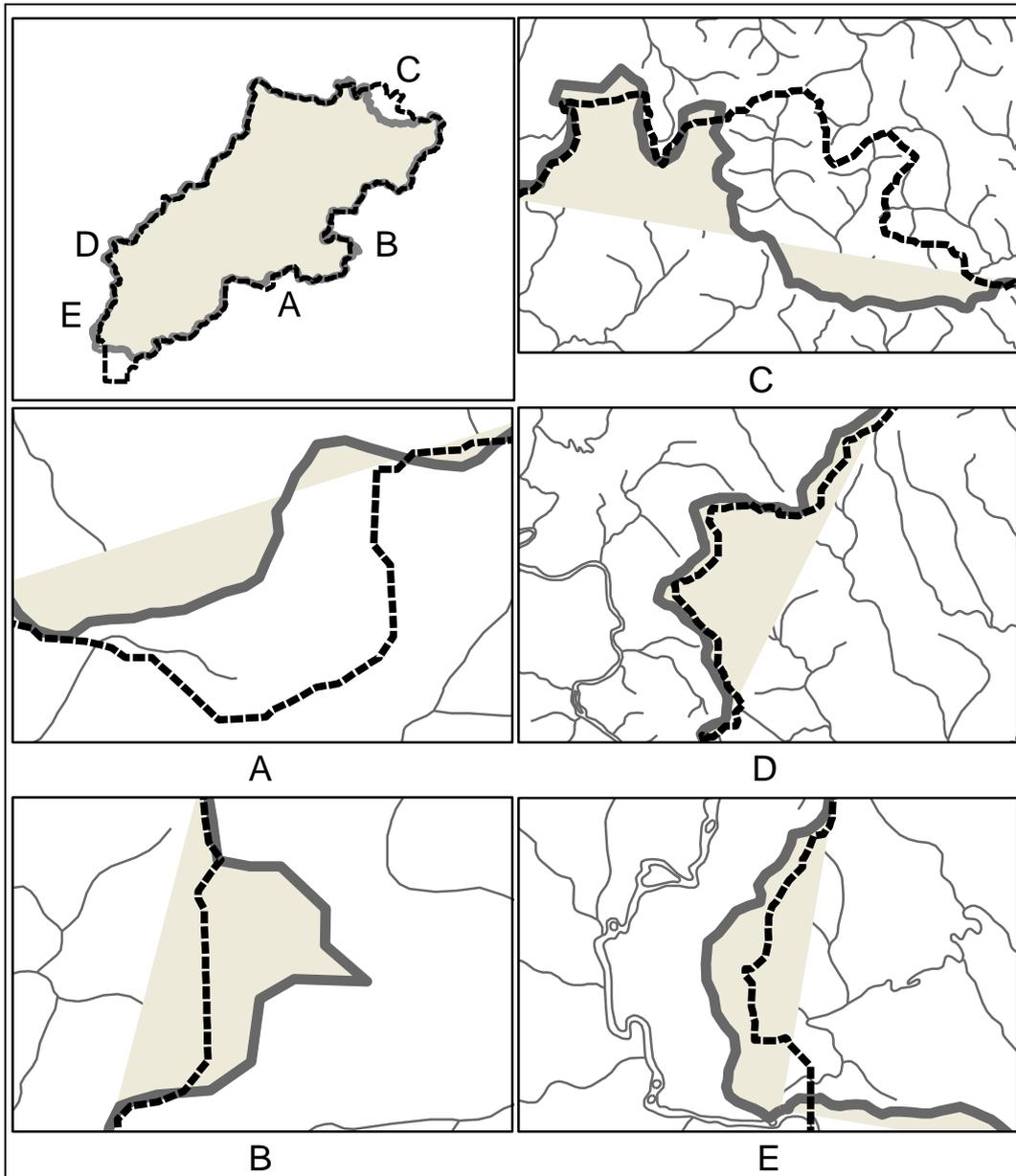


Figura 32 - Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de TIN de dados de radar (A e C- inclusão de áreas e canais, B, D e E- exclusões de áreas).

A Figura 32 descreve a comparação entre a delimitação padrão (D1), com a delimitação do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por TIN (D6), cujas cenas representam os seguintes erros:

- As cenas 32-A e 32-C indicam a ocorrência de inclusão de áreas e canais de bacias vizinhas.
- As cenas 32-B, 32-D e 32-E demonstram as exclusões de áreas.

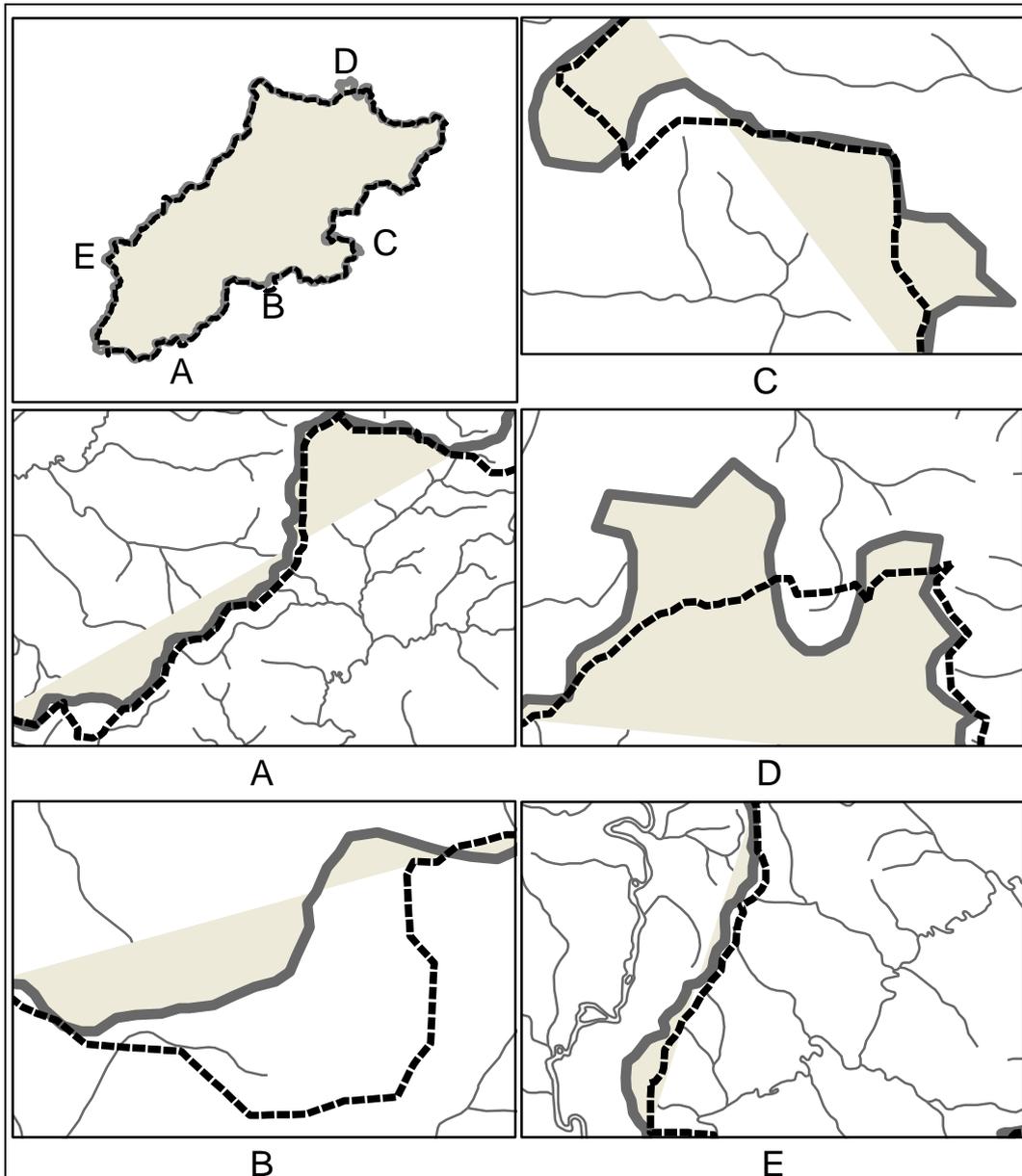


Figura 33 - Comparação entre delimitação manual mapeada e delimitação de MDE de TR de dados de radar (A e B- inclusão de áreas e canais, C e D- sequências inclusões e exclusões de áreas e canais, E- exclusão de área).

Os erros verificados entre a delimitação padrão (D1) e a delimitação do MDE originário das imagens SRTM refinadas por meio de interpolação de curvas de nível por interpolador “Topo to Raster” (D7), constam na Figura 33.

O MDE gerado por Topo to Raster apresentou os menores erros pelo uso de dados de radar. As principais observações da Figura 33 são apresentadas a seguir:

- A cena 33-A apresenta erros de inclusão de área ao longo de uma linha.
- A cena 33-B indica uma inclusão de área e canal da bacia vizinha.

- As cenas 33-C e 33-E apresentam inclusões e exclusões de áreas e canais.
- A cena 33-E apresenta erros de exclusão de área ao longo de uma linha.

Com base na comparação visual dos procedimentos de delimitação, os menores erros foram verificados na delimitação D4, MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (TRHD).

Deve-se atentar que a delimitação padrão (manual por cartografia) também está sujeita a erros, causados por distorções das curvas de nível e/ou por interpretação destas (RODRIGUES & ADAMI, 2005), e que podem apresentar valores diferentes diante repetição do procedimento. Os métodos automáticos, por se tratarem de modelos matemáticos, têm a vantagem de eliminar tais subjetividades, apresentando os mesmos resultados, ou com maior proximidade, diante repetição.

Com base na obtenção e comparação de resultados, entende-se que a ocorrência de erros e diferenças de valores de áreas de drenagem não devem ser atribuídos exclusivamente a determinada base de dados altimétricos, ao método de delimitação ou interpolador adotado. As condições físicas da área analisada, principalmente altitudes e declividade, podem exercer influencia significativa na obtenção de resultados de qualidade e confiabilidade (PINHEIRO, 2005; TORRES et al., 2006; MEDEIROS et al., 2009; ALVES SOBRINHO et al., 2010).

#### 4.1.3. Análise do cruzamento de redes de drenagem

A partir dos valores de cruzamentos da hidrografia mapeada (original da carta topográfica) com as hidrografias numéricas (derivadas dos MDE's) justifica-se a influência das variações da consistência dos procedimentos de interpolação. Com a modificação da hidrografia mapeada (D1) para o formato Raster, obteve-se uma representação de 36.536 pixels de 10m x 10m.

O procedimento de interpolação que apresentou o resultado de maior coincidência com a hidrografia mapeada (D1) foi a interpolação do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia (D4), onde se verifica um total de 7.265

pixels (19,88%) comuns entre estas duas representações. O segundo melhor resultado foi pelo uso de TIN aplicado a carta (D2), com 3.472 pixels (9,50%), em que deve se considerar o maior número de *pixels* total desta representação (21.976). Os piores resultados de coincidências de pixels das hidrografias foram das imagens de radar, sendo D5 (0,59%), D7 (3,06%) e D6 (3,43%), cujos valores constam na Tabela 4.

Tabela 4 - Cruzamento de hidrografia mapeada com hidrografia numérica

<b>Delimitação</b>	<b>Pixels (P)</b>	<b>Pixels (D1 – P)</b>	<b>Sobreposição (pixels)</b>	<b>Sobreposição (%)</b>
D2	21.976	14.560	3.472	9,50
D3	19.762	16.774	3.217	8,81
D4	19.699	16.837	7.265	19,88
D5	2.673	33.863	216	0,59
D6	20.005	16.531	1.255	3,43
D7	17.981	18.555	1.119	3,06

#### 4.1.4. Considerações

Adotou-se como base de dados de altimetria as isolinhas do IBGE, a delimitação gerada por procedimento manual e o interpolador Topo to Raster com suporte da hidrografia (TRHD) para segmento das demais etapas (uso e ocupação do solo, delimitação de APP e predição da erosão hídrica dos solos) em função dos seguintes fatores observados:

- A delimitação do MDE gerado por meio da interpolação de curvas de nível do IBGE por interpolador “Topo to Raster”, com suporte de hidrografia identificou a área de drenagem de valor mais próximo da delimitação manual, onde se verificou menores ocorrências de inclusão e/ou exclusão de área de drenagem.
- Os MDE's originados pelas imagens de radar geraram maiores, ou mais nítidos, erros de exclusão de área de contribuição de escoamento para o canal principal em função da identificação do ponto inicial (foz) para seguimento do processo de delimitação da área de drenagem.

O método de geração de hidrografia a partir de dados altimétricos é uma das etapas da delimitação automática de bacias hidrográficas, conforme mostrado no item 2.2.1.2. De acordo com Medeiros et al. (2009) estes

procedimentos consistem da identificação de fatores a partir dos valores de *pixels*, o que segundo Pinheiro (2006) pode ser um fator adicional aos erros verificados.

As discussões referentes aos métodos adotados para delimitar bacias de forma automática não têm o objetivo de invalidar ou depreciar tais métodos, mas sim alertar que a escolha do método e a qualidade dos dados de origem, assim como os processos de interpolação, a geração e a correção do MDE, são fatores de grande importância para a qualidade do produto final.

Considera-se importante observar que outros trabalhos verificaram melhores resultados a partir de dados de SRTM em comparação a cartas topográficas, a exemplo de Pinheiro (2006) e Medeiros et al. (2010), e que os procedimentos automáticos de SIG aplicados aos dados de radar garantem excelente relação custo-benefício, ganho de tempo (em função da disponibilidade das imagens) e menor subjetividade na delimitação de bacias hidrográficas.

#### 4.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Pela digitalização das ocorrências verificadas nas fotografias aéreas, consta a predominância de uso do solo para pastagens (30,63%), Tabela 5 e Figura 33, sendo esta dividida em pasto limpo (24,01%) e pasto sujo (6,62%), seguido de cultura permanente (27,26%), e florestas (24,68 %). As demais classes apresentaram valores bastante inferiores com cultura temporária (2,95%), afloramento rochoso (1,18%), área edificada (0,61%) e solo exposto (0,52%).

De acordo com o mapeamento realizado pelo RADAMBRASIL (1983), o Sul do Espírito Santo apresenta a característica de supressão de vegetação natural pelas atividades antrópicas, destacando-se a agropecuária, o que pode justificar a predominância destas classes (culturas agrícolas e pastagens). Tal informação mostra-se pertinente para bacia da Prata, tendo em vista que o uso do solo por agropecuária são as principais ocorrências.

Tabela 5 - Distribuição espacial das classes de uso do solo da bacia da Prata

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Afloramento	1,55	1,18
Cultura Permanente	36,05	27,26
Cultura Temporária	3,84	2,95
Edificação	0,85	0,61
Floresta	32,60	24,68
Pasto Limpo	31,66	24,01
Pasto Sujo	8,80	6,62
Solo Exposto	0,70	0,52
Vegetação Rupestre	16,20	12,17

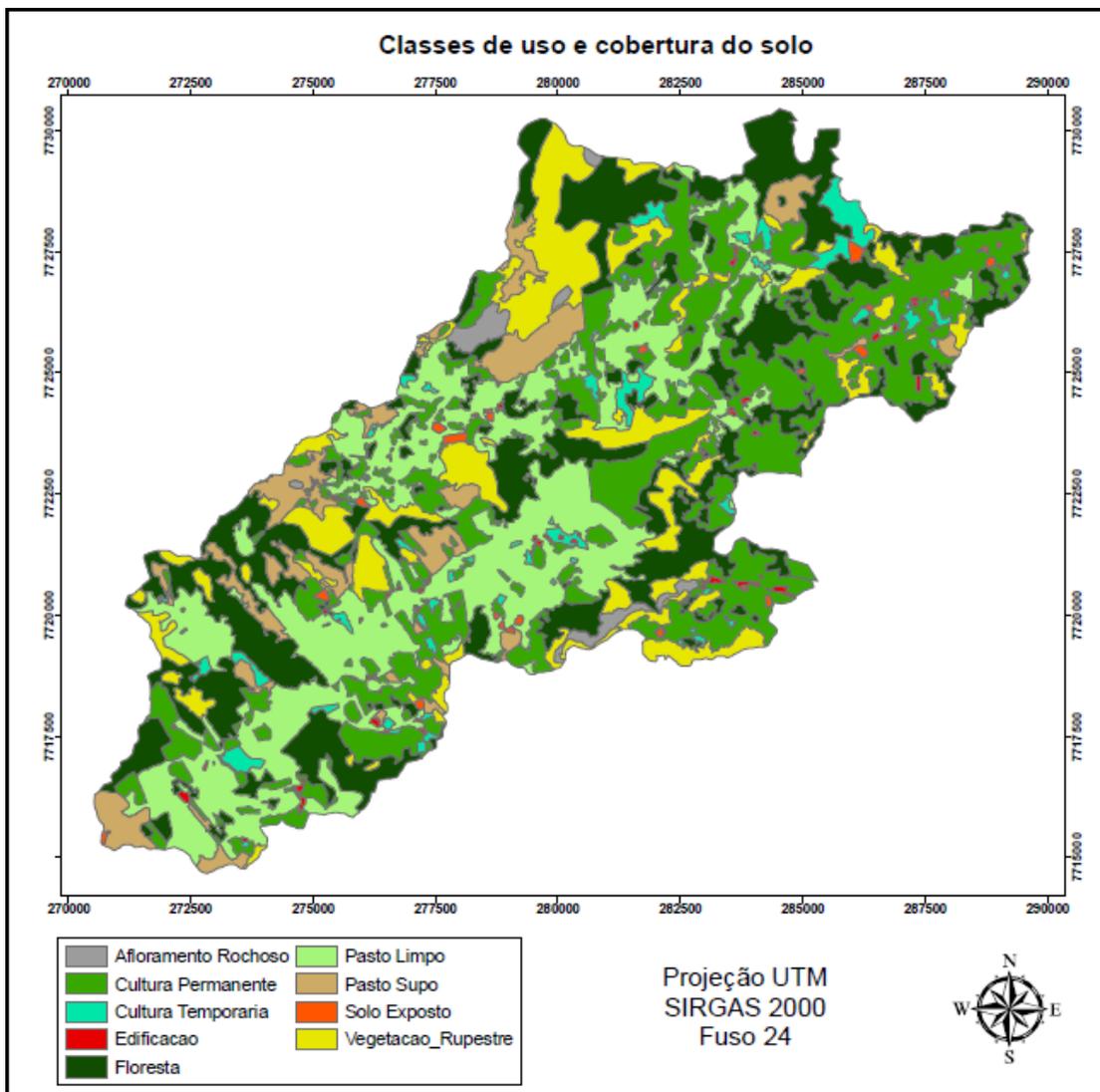


Figura 34 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia da Prata.

Considerando a suscetibilidade à erosão, nota-se um fator positivo pela menor ocorrência da classe de solo exposto (0,52%), adotado para áreas descobertas e de mineração. A classe de florestas também representa um fator positivo, mas por sua maior proporção (24,68%), pois seus valores de erosividade do solo são entre os mais baixos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

#### 4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Na Tabela 6 encontram-se os valores das áreas de preservação com base nos valores identificados individualmente.

A delimitação das APP's com base nos recursos hídricos gerou uma área de 16,95 km<sup>2</sup> (12,81%) a partir dos canais (*Buffer* de 30m) e de 1,65 km<sup>2</sup> (1,25%) a partir das 211 nascentes (*Buffer* de 50m), áreas estas que compreendem a destinação de formação de matas ciliares.

As áreas de relevo superior a 45°, ou 100% de inclinação, constituem uma área total de 49,06km<sup>2</sup> (37,09%). Os topos de morros, terço superior, compreendem uma área de 21,65 km<sup>2</sup> (16,37%). Ambos foram identificados a partir do MDE gerados por Topo to Raster com suporte de hidrografia. Leonardi et al. (2009) identificaram o terço superior de elevações em ambiente de MNT-SPRING por processo semi-automático, indicando a maior e menor altitude da elevação, obtendo a delimitação do terço superior pelo *software* em categoria temática. Ribeiro et al. (2005) obtiveram uma delimitação de topos de morros correspondente a 35% (75ha) da área analisada.

Tabela 6 - Valores de áreas de APP da bacia da Prata

APP	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Nascentes	1,65	1,25
Canais	16,95	12,81
Relevo > 45°	49,06	37,09
Topos (manual)	21,65	16,37
APP total	73,39	55,48

Comparando-se a área total da bacia da Prata (132,28 km<sup>2</sup>) com a área total que deveria se destinar a preservação (73,39 km<sup>2</sup>), conclui-se que esta compreende mais da metade da bacia (55,48%).

Na Figura 34 se encontram as áreas de preservação por tema e o mapa gerado a partir do *shapefile* da área total (73,39 km<sup>2</sup>) que se destinada à preservação permanente (APP), gerada pela fusão de todos os fatores.

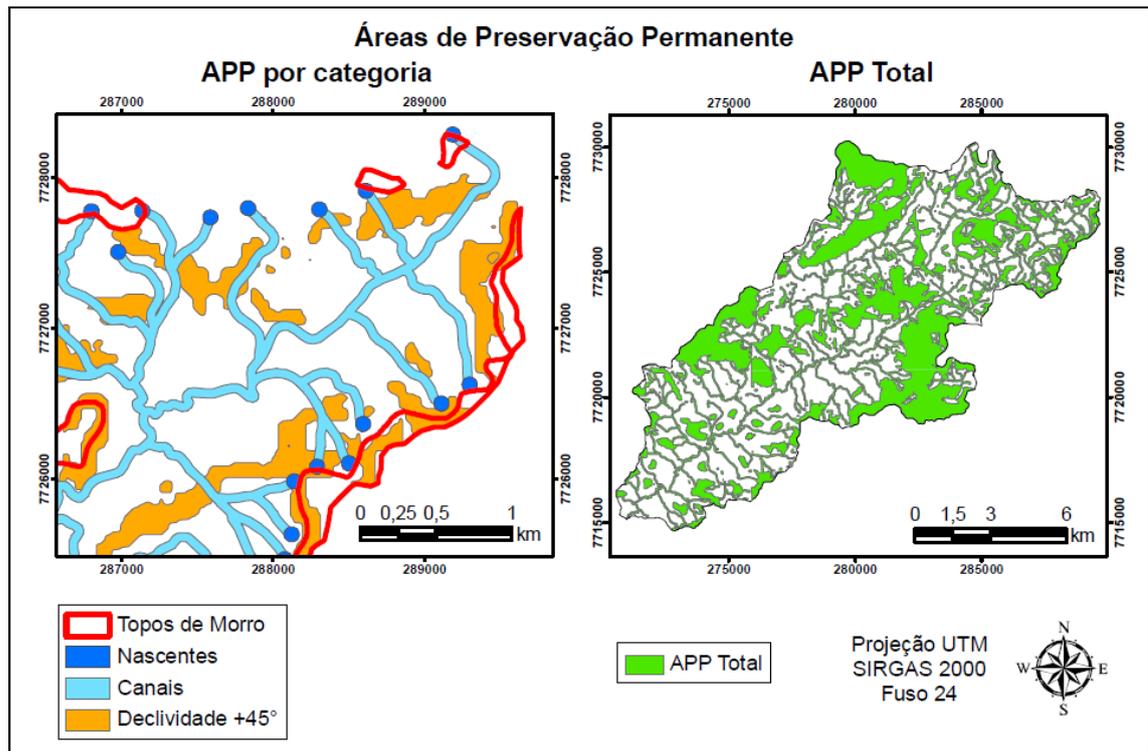


Figura 35 - Mapa de áreas de preservação permanente da bacia da Prata.

As áreas vermelhas são os topos de morros (identificados pelo terço superior das elevações), os círculos azuis são a partir dos raios de 50m das nascentes (buffer), as áreas em azul claro as distâncias dos canais (30m) e as áreas laranja as declividades acima de 45° de inclinação. A área verde representa toda porção da bacia que se deveria se destinar a área de preservação.

A Figura 35 apresenta o comportamento das áreas (km<sup>2</sup>) das classes temáticas em sua condição total na área analisada (colunas cinza escuro) e sua ocorrência apenas nas áreas de preservação (colunas cinza claro). Constam as formas de uso do solo na área que se destina a preservação permanente, sendo seus valores em área (km<sup>2</sup>) e percentual (%), indicando a

proporção de formas de uso em APP, também denominado como áreas de conflito (OLIVEIRA et al., 2008).

Verificou-se na APP a predominância da classe de floresta (29,11%) seguida por cultura permanente (24,49%), e as menores ocorrências para edificações (0,37%) e solo exposto (0,44%). Oliveira et al. (2008) analisaram, via imagens orbitais, as formas de cobertura e uso do solo em APP no entorno do Parque Nacional do Caparaó-MG, identificando como principais ocorrências as classes de cafezal e pastagens em áreas, que por lei, se destinam a preservação ambiental.

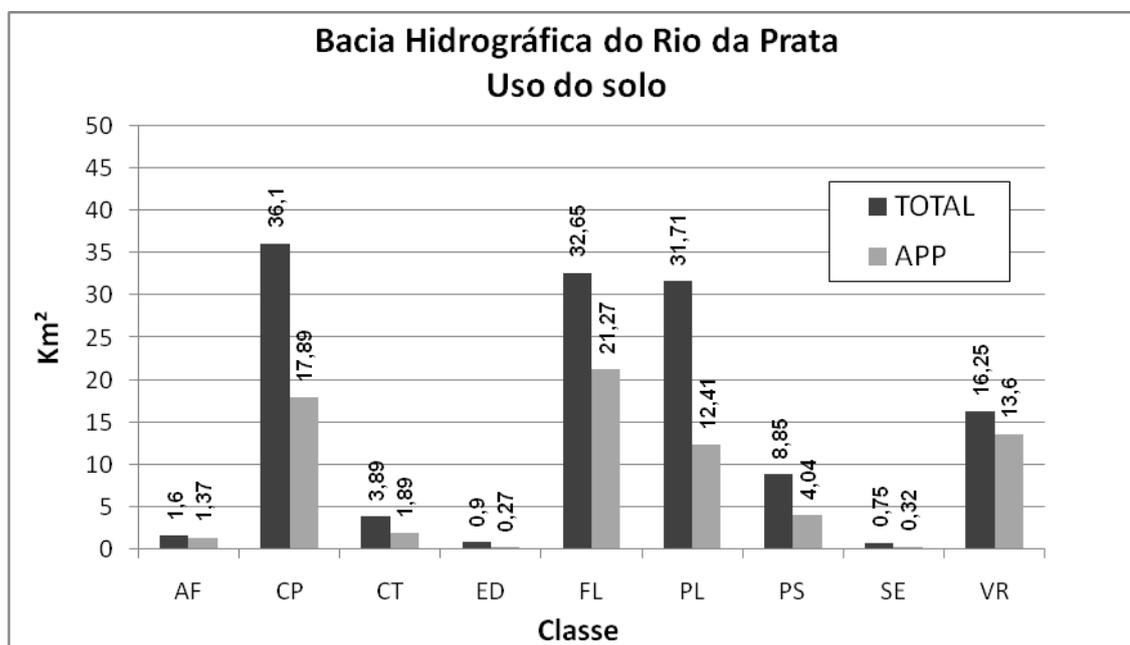


Figura 36 - Comportamento das formas de uso e ocupação do solo: (AF) afloramento rochoso, (CP) cultura permanente, (CT) cultura temporária, (ED) edificação, (FL) floresta, (PL) pasto limpo, (PS) pasto sujo, (SE) solo exposto e (VR) vegetação rupestre.

O somatório de todos os fatores antrópicos indica que uma parcela de 50,41% de área de preservação da BHRP é utilizada para fins econômicos e ocupacionais, e que 49,59% ainda não foram ocupadas.

A partir do gráfico da Figura 35 nota-se que a cultura permanente é a maior ocorrência total da bacia, e a segunda maior ocorrência na APP. A classe de pasto limpo apresenta redução significativa de área na APP, o que pode ser por influência das áreas de relevo acidentado, inadequado para tais práticas.

Com a classe de floresta ocorre comportamento oposto a cultura permanente, sendo esta a maior ocorrência na APP, e a segunda maior ocorrência na bacia.

Embora a principal ocorrência desta APP seja por floresta, a cultura permanente representa uma porção significativa de tais áreas, o que pode ser um fator de comprometimento do uso sustentável de solo e da água, principalmente ao se considerar a dependência da agropecuária da disponibilidade e da qualidade destes recursos.

#### 4.4. SIMULAÇÕES DE PERDAS DE SOLO

Entende-se que os resultados das perdas de solo, uso real e respeito à APP, será originado dos respectivos cenários, representados pelo fator C da EUPS. A Tabela 7 apresenta o comportamento das áreas (km<sup>2</sup> e percentual) dos valores do fator C nos mapas adotados.

Tabela 7 - Comportamento do fator C com base no somatório das classes de uso do solo e área de preservação da bacia da Prata

Fator C	Uso real do solo		Respeito às APP		Classe
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	
0,001	35,01	26,49	81,82	61,97	AF, FL, ED, APP*
0,01	25,01	18,91	17,96	13,53	PS, VR
0,10	31,66	23,90	12,41	9,35	PL
0,25	36,05	27,20	17,89	13,48	CP
0,65	3,84	2,93	1,89	1,42	CT
1,00	0,70	0,57	0,32	0,24	SE

\*Fator utilizado apenas na adoção de APP. (AF) afloramento rochoso, (CP) cultura permanente, (CT) cultura temporária, (ED) edificação, (FL) floresta, (PL) pasto limpo, (PS) pasto sujo, (SE) solo exposto e (VR) vegetação rupestre.

Os dados da Tabela 7 indicam um aumento significativo da área de menor erodibilidade (0,001) com a adoção de APP, de 26,49% para 61,97% da bacia. Nas demais classes ocorrem redução de suas áreas, o que se justifica pela adoção de APP. Pode-se estimar, com base nos valores das classes, que o resultado de redução de erosão anual tenha grande influencia por esta compensação de áreas do fator C.

As Figuras 36 e 37 são, respectivamente, os mapas de erosão com base nas condições de uso real do solo e pela adoção das áreas que se destinam a preservação.

Os parâmetros estatísticos dos mapas de erosão (Tabela 8) indicam redução de erosão pela adoção de APP. Com base nos valores mínimos, ambos apresentaram áreas de erosão nula (0), justificados pelas áreas de declividade baixa. Os valores de média são 85,43 em uso real do solo e 27,50 pelo respeito às APP (redução de 32,20%). Os valores máximos são 3.817,55 no uso real e 996,86 em adoção de APP (redução de 26,12%). A maior amplitude é do uso real do solo (1.908,77), e a menor na adoção de APP (498,43). Quanto às medidas de dispersão, o desvio padrão é de 163,16 em uso real do solo, e diminui para 66,60 com a adoção de APP. O coeficiente de variação é 190,99 no uso real do solo, e aumenta para 242,18 no cenário de respeito às APP.

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos dos mapas de erosão da bacia da Prata

<b>Parâmetro</b>	<b>Uso Real do solo</b>	<b>Adoção de APP</b>
Mínimo	0	0
Máximo	3.817,55	996,86
Média	85,43	27,50
Amplitude	1.908,77	498,43
Desvio Padrão	163,16	66,60
Coeficiente de Variação (%)	190,99	242,18

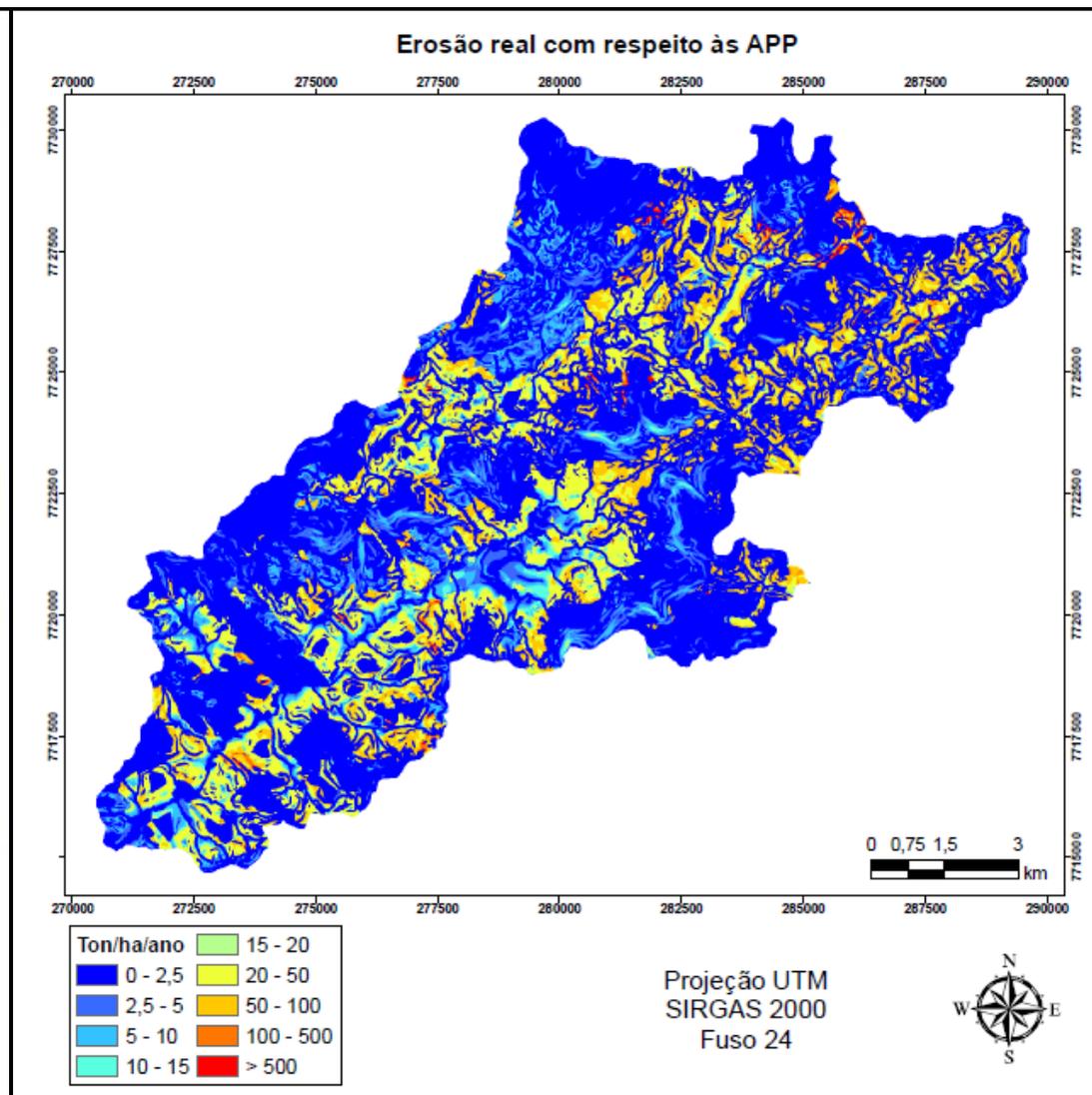
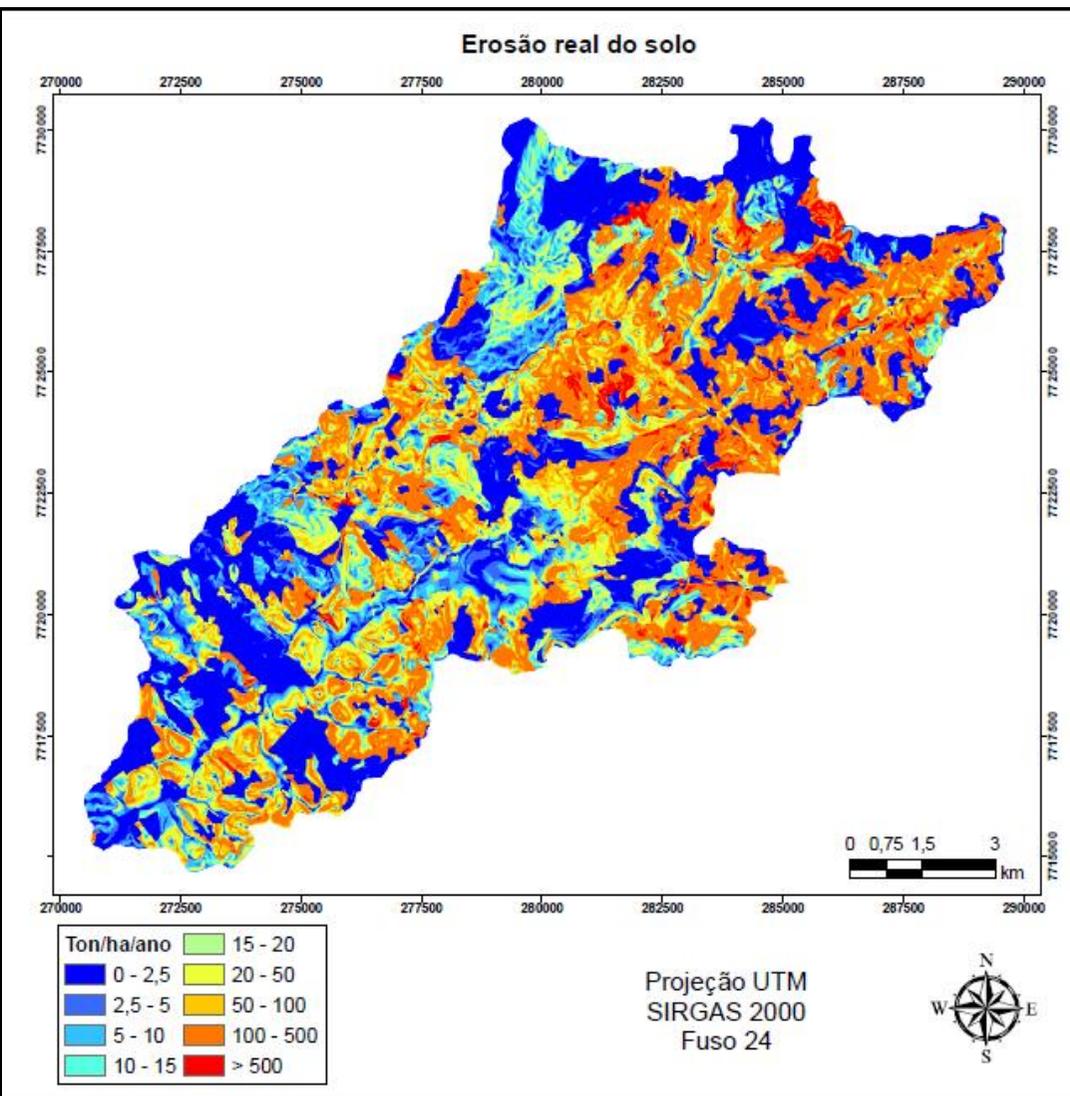


Figura 37 - Mapa de erosão real da bacia da Prata.

Figura 38 - Mapa de erosão com adoção de APP da bacia da Prata.

A Figura 38 representa o comportamento das áreas dos mapas, uso real do solo e adoção de APP, a partir de seus valores percentuais.

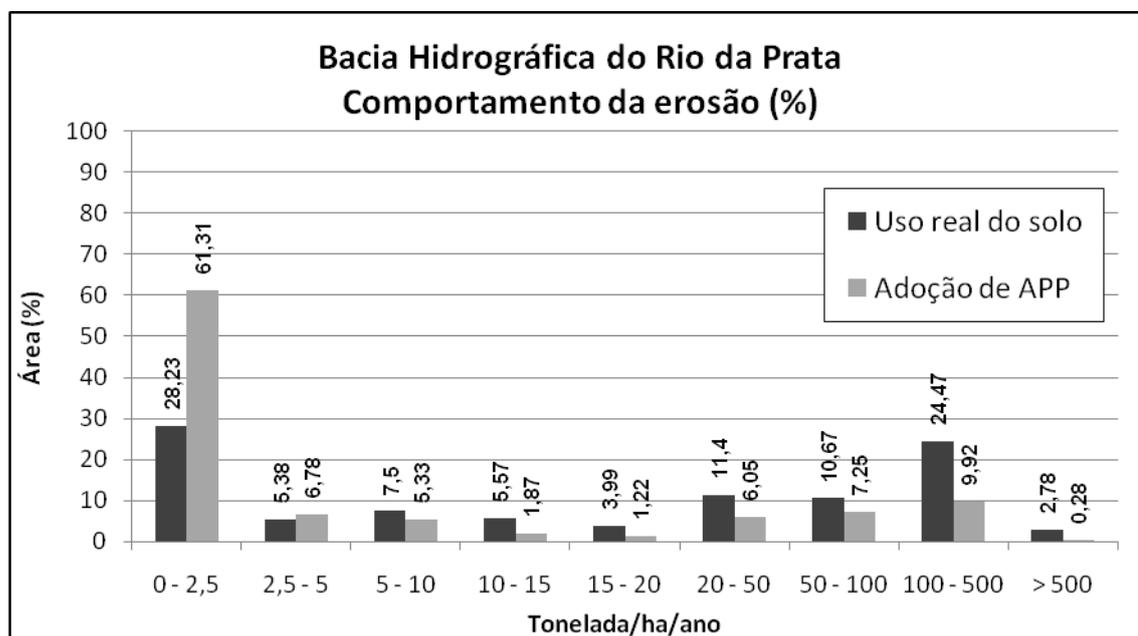


Figura 39 - Comparativo de erosão do uso real e da adoção de APP na bacia da Prata.

As condições de uso real do solo indicam uma máxima ocorrência de erosão de 0 - 2,5 em uma área de 3.733,98 ha (28,23% da bacia) e a menor ocorrência para o valor máximo de erosão >500 em uma área de 367,63 ha (2,78% da bacia).

Com a adoção de APP o ordenamento de maior e menor ocorrência se mantém. Entretanto, seus valores apresentam alterações significativas de erosão, sendo 0 - 2,5 com 8.116,04 ha (61,31%). Com base nestes valores, conclui-se que esta classe teve aumento acima de duas vezes do seu valor original.

A classe de menor valor de erosão (>500), com a adoção de APP permanece como a menor ocorrência, mas representa uma grande redução proporcional, de até dez vezes de sua área original (de 2,78% para 0,28%).

O comportamento destas duas classes expressa a eficiência do método a partir da compensação das áreas de erosão do mapa. Com a adoção da APP, ocorre o aumento das áreas de baixa erosividade por cobertura do solo (fator C). A redução de área de maior taxa de erosão e o aumento de área

de menor taxa de erosão expressa à importância da adoção de áreas de preservação, assim como explica o aumento das medidas de dispersão.

Considerando as tendências centrais dos valores de áreas, os valores de média se repetem, indicando uma distribuição de 1.469,50 hectares para cada classe. As medidas de tendência central apresentam aumento com respeito às APP's, sendo o desvio padrão de 1.209,04 pelo uso real do solo e de 2.526,79 para a adoção de áreas de preservação, e respectivamente, 82,27 e 171,78 de coeficiente de variação.

Na Tabela 9 encontram-se as distribuições temáticas dos valores de erosão e suas respectivas ocorrências por área em unidade de hectare (ha) e percentual (%). Distribuição semelhante dos valores de erosão, correlação das perdas de solo a distribuição espacial, foram adotados por Tomazoni e Guimarães (2005), sendo a maior ocorrência de área (1.118,60 ha) para a classe de menor erosão (0 - 2,5 ton/ha/ano) e a menor ocorrência espacial (70,24 ha) para a classe de 15 - 20 ton/ha/ano. Beskow et al. (2009) identificaram a maior ocorrência percentual para a classe de 0 - 2,5 ton/ha/ano (42,83%) e a menor ocorrência na classe de maior erosão  $\geq 500$  ton/ha/ano (1,15%).

Tabela 9 - Comportamento das classes de erosão da bacia da Prata

<b>Erosão (Ton/ha/ano)</b>	<b>Adoção de APP (ha)</b>	<b>Uso Real (ha)</b>	<b>APP - Real (ha)</b>	<b>APP - Real (%)</b>
0 – 2,5	8.116,04	3.733,98	4.382,06	117,36
2,5 – 5	897,18	711,93	185,25	26,02
5 – 10	705,31	991,57	-286,26	-28,87
10 – 15	247,1	737,13	-490,03	-66,48
15 – 20	161,59	527,6	-366,01	-69,37
20 – 50	800,6	1.508,18	-707,58	-46,92
50 – 100	960,12	1.411,51	-451,39	-31,98
100 – 500	1.313,82	3.236,28	-1.922,46	-59,40

A classe de maior aumento de área foi de 0 - 2,5, ou seja, com a adoção de APP esta teve um aumento de 4.382,06 ha (117,36%), e a classe que teve maior diminuição de sua área foi de 100 - 500, uma redução correspondente a 1.922,46 ha (-59,40%). O comportamento das reduções por classes apresentou uma média de 1,38 ha e -27,75% por classe.

A Tabela 10 apresenta os valores médios de erosão da bacia em conformidade com os tipos de solos. Beskow et al. (2009) utilizaram o método de fragmentação das classes de ocorrências de erosão a partir dos solos da bacia analisada, verificando sua maior erosividade potencial em cambissolos (65,49%).

Considerando os tipos de solos, verifica-se significativa redução dos valores médios de erosão (Ton/ha/ano) pela adoção de APP, sendo a redução mais expressiva para a classe de cambissolo (77,01), que tem o maior valor de erosão superficial (0,039 t. h/MJ), e a menos expressiva para chernossolo (8,68). A classe de latossolo, apesar do menor valor de erosão superficial (0,017 t. h/MJ) e área (0,5 ha) apresentou grande redução de perdas de solo (28,29). Silva e Alvares (2005) classificaram para o estado de São Paulo, a partir de valores de média aritmética, os solos do tipo argissolos, cambissolos e chernossolos como de alta erodibilidade e os latossolos de média erodibilidade.

Tabela 10 - Médias de erosão por tipos de solo (Ton/ha/ano)

<b>Solos</b>	<b>APP</b>	<b>Uso Real</b>	<b>APP – Real</b>
Argissolo	26,34	54,63	-28,29
Cambissolo	30,13	107,14	-77,01
Chernossolo	3,93	12,61	-8,68
Latossolo	7,74	37,63	-28,29

Na Tabela 11 constam os valores médios dos mapas de erosão real e com respeito às áreas de preservação, considerando sua ocorrência nos elementos que caracterizam a APP individualmente e totalizada.

Com o respeito às áreas de preservação verifica-se a redução média da erosão anual (Ton/ha/ano) das áreas das nascentes (-115,28), da área dos canais (-62,88), dos topos de morros (-77,64), das áreas acima de 45° de inclinação (-133,57) e da área total que se destina a preservação (-104,23). Considera-se a redução obtida pelas áreas de maior inclinação como a redução mais expressiva.

Tabela 11 - Médias de erosão em APP (Ton/ha/ano)

<b>Classe</b>	<b>Real</b>	<b>APP</b>	<b>APP – Real</b>
<b>Nascentes</b>	116,56	1,28	-115,28
<b>Canais</b>	64,09	1,21	-62,88
<b>Topos</b>	78,71	1,07	-77,64
<b>&gt; 45° inclinação</b>	134,77	1,20	-133,57
<b>Total</b>	105,56	1,33	-104,23

Este procedimento foi adotado por Pinheiro e Cabral (2007), os quais identificaram que a maior porção de APP da Lagoa Catú era ocupada por edificações (33,19%) e culturas temporárias (26,18%).

Os procedimentos adotados apresentaram resultados a contento, de acordo com o objetivo do trabalho, pelo uso de valores médios (R e P) e representações em formato Raster (K, LS e C) aplicados a multiplicação dos fatores, conforme a proposta da EUPS (GAMEIRO, 1997).

Os estudos da BHRP indicam, a partir das simulações de erosão e do uso conflitivo do solo em áreas de preservação, que as práticas conservacionistas não caracterizam uma realidade nesta unidade.

Constatou-se grande diferença de erosão potencial do solo pela ação das águas diante a comparação de diferentes cenários, ou seja, das condições reais de seu uso e do respeito às áreas que se destinam a preservação em uma bacia. A adoção das práticas conservacionistas possibilita a redução da erosão hídrica pelo adensamento da vegetação, o que pode contribuir para o equilíbrio do escoamento superficial e aumento das taxas de infiltração (pelo sistema radicular e aumento da rugosidade do terreno), fatores estes que podem se refletir de forma positiva na sustentabilidade do solo agrícola e na disponibilidade e qualidade da água de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980; SILVEIRA, 2004; RIBEIRO et al., 2005; PRUSKI, 2009; LIMA, 2008).

Entende-se que a adoção das APP's ainda não é uma realidade expressiva no Brasil, o que pode estar relacionado a uma diversidade de problemas relativos à sua aplicação (regionais, culturais, logísticos, legislativos, dentre outros).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, a partir dos estudos das características físicas e ambientais da bacia hidrográfica do Rio da Prata, permitiram concluir que:

- O Modelo Digital de Elevação D4, gerado a partir dos dados de mapeamento (curvas de nível e hidrografia da carta topográfica do IBGE) e pelo interpolador Topo to Raster, apresentou o melhor desempenho de representação do relevo da bacia.
- A principal forma de uso do solo na bacia é por pastagens, dividida em pasto limpo (24,01%) e pasto sujo (6,62%), seguido por cultura permanente (27,26%) e florestas (24,65%).
- A área da bacia que se destina a preservação permanente (73,39 km<sup>2</sup>), com base na declividade, nos topos de morros e nas margens de canais e nascentes, representa mais da metade de sua área total (132,28 km<sup>2</sup>).
- O somatório das classes de menor erodibilidade (0,001), que representam 26,49% da bacia nas condições de uso real do solo, passaram a representar 61,97% da bacia com a delimitação das áreas de preservação.
- A simulação da erosão anual da bacia apresentou redução média significativa (-32,20%), com base na média do mapa de erosão pelas condições reais de uso e ocupação do solo (85,43 ton/ha/ano), comparado à média do mapa de erosão com respeito às Áreas de Preservação Permanente (27,50 ton/ha/ano).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARAZ, S.A.; SANNIER, C.; VITORINO, A.C.T.; DANIEL, O. Comparison of methodologies for automatic generation of limits and drainage networks for hidrographic basins. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.369-375, 2009.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p. 46-57, 2010.

AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água**. Viçosa, Ed. UFV, 2009.

ARAÚJO, E.P. de. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos, 2006.

AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MELLO, C.R. de; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.6, p.563–569, 2008.

BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Ed. da UFSC, Florianópolis-SC, 112p. 1994

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª Edição. São Paulo: Ícone, 2005.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, 79 (2009) 49–59.

Brasil. Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965. **Institui o Código Florestal**. Diário oficial da República do Brasil, Brasília.

Brasil. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário oficial da República do Brasil, Brasília.

Brasil. Resolução Nº 303, de 20 de Março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Diário oficial da República do Brasil, Brasília.

CALHEIROS, R. de O. (et al.). **Preservação e Recuperação das Nascentes. Piracicaba**. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios: PCJ - CTRN, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução a ciência da geoinformação**. INPE: São José dos Campos, 2001.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M, GARRIDO, J. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Ed. Blücher, 2ª edição, 1980.

COMASTRI, J.A.; GRIPP JÚNIOR, J. **Topografia Aplicada**. Viçosa-MG: UFV, 1998.

COSTA, T.C. e C. da; FIDALGO, E.C.C.; NAIME, U.J.; GUIMARÃES, S.P.; ZARONI, M.J.; UZEDA, M.C. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da equação universal de perdas de solos e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrologicos e de uso/cobertura da terra no estado do Rio de Janeiro. **Revista ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 4, n. 1, 2009.

CORRÊA C.M.C.; DEDECEK R.A. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 39, n. 2, p. 381-391, abr./jun. 2009.

COUTINHO, L.M; CECÍLIO, R.A. **Métodos de delimitação manual de bacias hidrográficas**. Alegre: UFES, 2010. 14p. (Apostila didática).

CROSTA, Á.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Inc. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 9.2. Software. 2006.

FAIRFIELD, J.; LEYMARIE, P. Drainage networks from grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v.27, n.5, p.709-717, 1991.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

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

FOSTER, G.R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T., JOHNSON, H. P., BRAKENSIEK, D. L. (eds.). **Hydrologic modelling of small watersheds**. Michigan: ASAE, 1982. p. 296-380. (ASAE Monograph, 5).

GAMEIRO, M.G. **Avaliação de métodos para obtenção dos fatores “L” e “S” da EUPS numa microbacia, via geoprocessamento e banco de dados**.

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos, 1997.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico** - 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999 – 340 p.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. (Org.) **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. P.47-60.

HIGGITT, L.C. Soil erosion and soil problems. **Progress in Physical Geography**, v. I, n. 15, p. 91-100, 1991.

HOTT, M.C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E.E. de; **Método para delimitação automática de APP em topo de morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2004.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <[www.iema.es.gov.br](http://www.iema.es.gov.br)> Acesso em 11/03/10.

LEONARDI, S.S.; RENNÓ, C.D.; DUTRA, L.V. **Uma ferramenta computacional para delimitação automática de Áreas de Preservação Permanente em topos de morros**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, 2009. Disponível em <[www.lac.inpe.br/cap/arquivos/pdf/ST51.pdf](http://www.lac.inpe.br/cap/arquivos/pdf/ST51.pdf)> Acesso em 30/01/2010.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 2008.

MACHADO, M.L.; ALVES, J.S.; GOMES, I.; VIEIRA, E.M.; SIMÃO, M.L.R.; NAIME, U.J. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7733-7739.

MANNIGUEL, A.R.; CARVALHO, M. de P. e; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MEDEIROS, L.C.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, L.G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.61, n.2, p.137-151, 2009.

MIGUEL, P. **Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

MIRANDA, E.E. de (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 set. 2009.

MITCHELL, J.K.; BUBENZER, G.D. Soil loss estimation. In: KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. **Soil erosion**. John Wiley & Sons Ltd., 1980.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2005.

NAMIKAWA, L.M.; FELGUEIRAS, C.A.; MURA, J.C.; ROSIM, S.; LPES, E.S.S. **Modelagem Numérica do Terreno e aplicações**. INPE, São José dos Campos, 2003.

NASCIMENTO, M.C. do; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S; SILVA, E. Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2289-2296

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, F.S. de.; SOARES, V.P.; PEZZOPANE, J.E.M.; GLERIANI, J.M.; LIMA, G.S.; SILVA, E.; RIBEIRO, C.A.A.S.; OLIVEIRA, A.M.S. Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional Do Caparaó, estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.899-908, 2008.

PINHEIRO, E. da S. Comparação entre dados altimétricos *Shuttle Radar Topography Mission*, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**. N° 58/01, 2006.

PINHEIRO, L. de S.; CABRAL, N.R.A.J. Níveis de ocupação nas áreas de preservação permanente no entorno da lagoa do Catú, Aquiraz-CE. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica. **Anais...** João Pessoa-PB, 2007.

PIRES, J.M.; NASCIMENTO, M.C.; SANTANA, R.M.; RIBEIRO, C.A.A.S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.2, p.39-47, 2005b.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROETZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para entender a Terra** – 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais - Folha SF 23-24; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da Terra**. Rio de Janeiro. IBGE, 1983.

PRUSKI, F.F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas se solo. In: PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e da água**. Viçosa, Ed. UFV, 2009.

REDIVO, A.L.; GUIMARÃES, R.F.; RAMOS, V.M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de; MARTINS, E. de S. **Comparação entre diferentes interpoladores na delimitação de bacias hidrográficas**. Planaltina-DF: EMBRAPA Cerrados, 2002.

RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A.M.S.; GLERIANI, J.M. O Desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.203-212, 2005.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas, *in*: VENTURI, L.A.B. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

SANTOS, A.R. dos. **ArcGIS 9.1 total: aplicações para dados espaciais**. Vitória, ES: Fundagres, 2007.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Bahia : Editus, 2002.

SERIGATO, E.M. **Delimitação automática de áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Sepotuba-MT**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Ciência Florestal. Viçosa: UFV, 2006.

SERIO, J.; COSTA, C.A.G.; TEIXEIRA, A. dos. S.; ORTEGA, E. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 213-221, abr./jun. 2008

SILVA, A.M. da; MELLO, C.R, de; CURI, N.; OLIVEIRA, P.M. de. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de

latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2125-2134, 2008.

SILVA, A.M. da; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. de. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2ª edição. São Carlos, RiMa, 2007.

SILVA, A.M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, J.M. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. **Cachoeiro de Itapemirim - Folha SF-24-V-A-V**. Estado do Espírito Santo, escala 1:100.000, Brasília: DNPM/CPRM, 1993.

SILVA, J.M.A. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. 2002. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 2002.

SILVA, V.C. da. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 33 (1): 29-34, 2003.

SILVEIRA, A.L.L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica in: TUCCI, C. E. M. (et al) **Hidrologia: ciência e aplicação** – 3ª edição. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

STEMPNIAK, A.; BATISTA, G.T.; MORELLI, A.F. Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente APP na Bacia do Vidoca no Município de São José dos Campos, SP. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade, **Anais...** Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 733-740.

TELLES, T.; CUIMARÃES, M. de F. Custos da erosão do solo. 47º Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER). **Anais...** Porto Alegre, 26 a 30 de julho de 2009.

TERRANOVA, O.; ANTRONICO, L.; COSCARELLI, R.; IAQUINTA, P. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). **Geomorphology** 112 (2009) 228–245

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, J. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 57/03, 2005.

TORRES, T.G.; PARANHOS FILHO, A.C.; TERUYA JUNIOR, H.; CÔRREA, L.C.; GARCEZ, J.C.S.; COPATTI, A. Utilização dos dados SRTM na geração

dos limites da bacia hidrográfica do rio Formoso (Bonito, MS). In: **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, 1, 2006. Campo Grande, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p.145-154.

VALERIANO, M. de M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. INPE, São José dos Campos-SP, 2004

VICENTE, C.R.B.; SIMÕES, E.R.D.; MOREIRA, J.V.P.; FONSECA, M.A. **Inventário da oferta turística do município de Castelo**. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Espírito Santo, 2005.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M.L.; VIEIRA, E.M.; SIMÃO, M.L.R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do Ribeirão Conquista no Município de Itaguara-MG. XXII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** UFV – 06 a 10/09/2009.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. SP, McGraw-Hill, 1975. 245p.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook n. 282. Science and Education Administration United States Department of Agriculture, 1978.