

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA – CEP SRM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**RELAÇÃO ENTRE FLORESTA NATIVA E DADOS  
GEOMORFOMÉTRICOS, NO PLANALTO MERIDIONAL - RS**

**VIANEI LUÍS DIEDRICH**

**Porto Alegre**

**2011**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto E Meteorologia –  
CEPSRM  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

**RELAÇÃO ENTRE FLORESTA NATIVA E DADOS  
GEOMORFOMÉTRICOS, NO PLANALTO MERIDIONAL - RS**

Vianeí Luís Diedrich

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto, nas áreas de concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados, e Recursos Naturais e Meio Ambiente.

Orientadora: Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Co-Orientadora: Dra. Tatiana Mora Kuplich

Porto Alegre

2011

### CIP - Catalogação na Publicação

Diedrich, Vianeí Luís  
Relação entre Floresta Nativa e Dados  
Geomorfométricos, no Planalto Meridional - RS /  
Vianeí Luís Diedrich. -- 2011.  
124 f.

Orientadora: Dejanira Luderitz Saldanha.  
Coorientadora: Tatiana Mora Kuplich.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em  
Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-  
Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-  
RS, 2011.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Vegetação. 3.  
Variáveis Geomorfométricas. I. Saldanha, Dejanira  
Luderitz, orient. II. Kuplich, Tatiana Mora,  
coorient. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente aos meus pais José e Marli, que me oportunizaram uma excelente educação e que são os meus maiores exemplos de vida.

Ao meu grande irmão Vinícius, pelo companheirismo, apoio incondicional e pela esperança depositada em mim.

Agradeço à Patrícia, pela compreensão nos momentos de esforço extra, comprometendo os finais de semana que seriam dedicados à relação afetiva do namoro.

Ao ilustre amigo Rafael Eckhardt, que serviu de exemplo insuperável como pessoa de caráter e profissional de alta competência.

Agradeço aos colegas de mestrado Carline, Magno e Hugo pelo companheirismo, cooperação e grande amizade.

Agradeço às orientadoras Dra. Dejanira Saldanha e Dra. Tatiana Kuplich, que me apoiaram sempre que possível ao longo do mestrado e me proporcionaram a liberdade de definir e desenvolver os objetivos que condicionaram os resultados da presente dissertação.

Ao professor Dr. Laurindo Guasselli, pelas importantes contribuições na qualificação do projeto, que definiram os objetivos do presente trabalho.

Agradeço ao Governo Federal, representado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade de desenvolver o trabalho com o auxílio de uma bolsa de estudos.

Agradeço também ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD), por proporcionar o intercâmbio de três meses junto ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Por fim, agradeço à sorte e às energias positivas que sustentaram as minhas conquistas até o momento. Mesmo assim, tenho a ciência de que o esforço e a dedicação, quando executados com ética, fazem toda a diferença no final.

# RELAÇÃO ENTRE FLORESTA NATIVA E DADOS GEOMORFOMÉTRICOS, NO PLANALTO MERIDIONAL - RS<sup>1</sup>

Autor: Vianeí Luís Diedrich

Orientadora: Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Co-Orientadora: Dra. Tatiana Mora Kuplich

## RESUMO

A conservação das florestas é importante para a manutenção de grande parte da biodiversidade natural, tanto da flora como da fauna. No Sul do Brasil, como integrante do bioma Mata Atlântica, destaca-se a Floresta Ombrófila Mista, que ocorre na Região dos Campos de Cima da Serra, no Planalto Meridional. Essa Região, juntamente com os Campos de Altitude, vem sofrendo com ações antrópicas, em decorrência da contínua e rápida substituição, descaracterização e fragmentação dos seus diferentes ambientes naturais, sendo classificada como de extrema relevância ecológica, enquadrada como área prioritária de conservação ambiental. Neste sentido, estudos de condicionantes ambientais podem auxiliar na compreensão da dinâmica de ocupação dessas florestas, gerando subsídios às ações de planejamento e gestão ambiental. O presente estudo objetivou o mapeamento temático das áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Mista em dois períodos distintos. Posteriormente, foi investigado o padrão de ocupação dessa floresta com base em variáveis geomorfométricas, extraídas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Os fatores definidos como condicionantes à ocupação florestal foram empregados para a elaboração de um mapa potencial, gerando assim um indicativo de regiões favoráveis à composição dessa formação vegetal, especialmente sobre as áreas de campo. Os resultados indicaram uma boa precisão quanto ao mapeamento temático da floresta nativa que, em 2010, ocupava um percentual de 27,68% do total da área de estudo (9.004,38 km<sup>2</sup>). Considerando a análise temporal quantitativa dessa vegetação, houve pouca alteração em termos de área total. Pela análise da relação com as variáveis geomorfométricas, a declividade e a hidrografia foram consideradas como fatores potenciais à ocupação da floresta. O mapa potencial gerado apresentou boa acurácia, em comparação com o mapa temático de 2010. As áreas indicadas como muito alto potencial à ocupação florestal nativa demonstraram a possibilidade de conectividade entre as bacias hidrográficas Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, através das sub-bacias do rio dos Touros e do rio Cerquinha, ambas localizadas na porção norte da área de estudo, na Região Nordeste do RS.

**Palavras-Chave:** sensoriamento remoto; vegetação; variáveis geomorfométricas; mapa potencial.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, Agosto de 2011, 124p.

# RELATION BETWEEN NATIVE FOREST AND GEOMORPHOMETRIC DATA IN THE PLANALTO MERIDIONAL – RS<sup>1</sup>

Author: Vianeí Luís Diedrich

Advisor: PhD. Dejanira Luderitz Saldanha

Co-Advisor: PhD. Tatiana Mora Kuplich

## ABSTRACT

Forest conservation is an important factor for the maintenance of huge part of natural biodiversity for both flora and fauna. In southern Brazil, as an integrant of the Atlantic forest Biome, stands out the Mixed Ombrophilous Forest that occurs in Campos de Cima da Serra region, in the Planalto Meridional. This region along with Campos de Altitude is experiencing the human actions in result of the fast and continuous replacement, non-characterization and fragmentation of its different natural environments and it's being classified as of extreme ecological relevance, framed into priority area of environmental conservation. In this circumstance, studies of the environmental determinants may help to comprehend the occupation dynamics of the forest, creating subsidies to planning and environmental management actions. The present study had as its aim the thematic mapping of the areas occupied by the Mixed Ombrophilous Forest into two distinct periods. Posteriorly was investigated the pattern of occupation of this forest based on geomorphometric variables derived from SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). The potential factors defined as determinants to the forest occupation were used to the elaboration of a potential map generating an indicative of favorable regions to their vegetation types composition, especially on grassland areas. The results indicated a good precision with regard to the thematic mapping of the native forest that in 2010 occupied a percentage of 27,68% of the total study area (9.004,38 km<sup>2</sup>). Considering the quantitative temporal analysis of this vegetation there was little change in terms of total area. By the analysis of the relation with geomorphometric variables, the slope and hydrography were considered as potential factors to the forest occupation. The potential map created presents good accuracy, comparing with the thematic map of 2010. The indicated areas with very high potential to the native forest occupation demonstrates the possibility of connectivity between the Taquari-Antas and Apuaê-Inhandava watersheds, through the Touros and Cerquinha rivers sub-basins, both localized in northern part of the study area, in the northeast region of RS.

**Keywords:** remote sensing; vegetation; geomorphometric variables; potential map.

---

<sup>1</sup> Masters Degree Dissertation in Remote Sensing, State Center of Researches in Remote Sensing and Meteorology (CEPRSM), Post-Graduation Course in Remote Sensing of Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, August 2011, 124p.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Remanescentes florestais da Mata Atlântica mapeados até o ano de 2008 no Estado do Rio Grande do Sul e identificação de áreas de desmatamentos.....	16
<b>Figura 2</b> - Indicação da área de estudo sobre as regiões fitoecológicas ocorrentes nos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul. ....	20
<b>Figura 3</b> - Curva de reflectância típica de uma folha verde. ....	30
<b>Figura 4</b> - Mapa de localização da área de estudo, junto à Região dos Campos de Cima da Serra, no Planalto Meridional do RS. ....	39
<b>Figura 5</b> – Classes de altimetria da Região dos Campos de Cima da Serra. ....	42
<b>Figura 6</b> - Unidades da paisagem presentes na área de estudo. ....	43
<b>Figura 7</b> - Grupos de solos existentes na área de estudo. ....	43
<b>Figura 8</b> - Mapa com o recorte da área de estudo com a sobreposição das curvas de nível e a hidrografia principal, obtidas a partir da base vetorial do Rio Grande do Sul. ....	48
<b>Figura 9</b> - Mosaico de imagens do satélite Landsat-5 TM, com realce linear de contraste (2%), órbita-ponto 200-80 e 221-80, dos dias 29 e 20 de junho de 1987, composição colorida R(5)G(4)B(3), Região Nordeste do RS. ....	50
<b>Figura 10</b> - Mosaico de imagens do satélite Landsat-5 TM, com realce linear de contraste (2%), órbita-ponto 200-80 e 221-80, dos dias 31 de agosto e 7 de setembro de 2010, composição colorida R(5)G(4)B(3), Região Nordeste do RS. ....	50
<b>Figura 11</b> - Variáveis geomorfológicas locais derivadas da altimetria.....	52
<b>Figura 12</b> - Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno. ....	54
<b>Figura 13</b> - Área de estudo (Região Nordeste do RS) e a sua relação com o modelo digital de elevação (resolução ~ 30 m), curvas de nível e hidrografia principal (base 1:50.000). ....	55
<b>Figura 14</b> - Fluxograma com as principais etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho. ....	57

- Figura 15** - Pontos identificados no trabalho de campo com o auxílio de um receptor GPS de navegação, na Região Nordeste do RS.....59
- Figura 16** - Pontos de controle utilizados no registro das imagens Landsat: na esquerda, órbita-ponto 221-80, composição colorida R5G4B3; e, na direita, órbita-ponto 220-80, composição colorida R5G4B3. ....63
- Figura 17** - Fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, formação Montana, localizados em área destinada à pecuária extensiva, na porção sudoeste da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....74
- Figura 18** - Floresta Ombrófila Mista, formação Montana, inserida na matriz campestre, localizada na parte sul da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....75
- Figura 19** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, inserida na matriz campestre utilizada para a pecuária, localizada na parte norte da área de estudo, Região Nordeste do RS.....75
- Figura 20** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, sobre as áreas de encosta que se aprofundam num vale, onde se encontra um afluente do Arroio Passo Fundo, localizado na parte leste da área de estudo, Região Nordeste do RS.....75
- Figura 21** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, sobre a matriz campestre utilizada para a pecuária extensiva. Localização: região leste da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....76
- Figura 22** - Banhado (campo úmido) localizado na parte baixa do terreno. Ao fundo, áreas de florestal nativa, formação Montana. Localização: limite oeste da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....76
- Figura 23** - Campo limpo destinado à pecuária extensiva, localizado na região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS. Ao fundo, uma área com Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana.....77
- Figura 24** - Floresta exótica, caracterizada pela monocultura de *Pinus* sp., localizada na região sul da área de estudo, Região Nordeste do RS.....77
- Figura 25** - Pressão antrópica sobre a paisagem: fragmentação da Floresta Ombrófila Mista e o avanço da floresta exótica (silvicultura), em estágio inicial de desenvolvimento. Localização: região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS.....78
- Figura 26** - Extensas áreas com o plantio de *Pinus* sp. (silvicultura) restringindo as bordas dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. Localização: região central da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....78
- Figura 27** - Exemplo de solo exposto no canto superior esquerdo da imagem. Seus limites envolvem áreas de floresta nativa e exótica. Localização: região central da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....79

<b>Figura 28</b> - Exemplo de ocupação de pastagens artificiais sobre as áreas de campo nativo. Localização: região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS. ....	79
<b>Figura 29</b> - Comparação entre as imagens de satélite originais de 1987 (superior) e 2010 (inferior), com as suas respectivas áreas classificadas. Imagem Landsat TM-5, órbita 220, coordenada central: projeção UTM, datum WGS84, fuso 22, 585804 E e 6828531 N. ....	83
<b>Figura 30</b> - Comparação das imagens de satélite de 1987 (superior) e 2010 (inferior), com as suas respectivas áreas mapeadas. Imagem Landsat TM-5, órbita 221, coordenada central: projeção UTM, datum WGS84, fuso 22, 567946 E e 6833323 N. ....	84
<b>Figura 31</b> - Mapa temático com as áreas de Floresta Ombrófila Mista identificadas a partir das imagens de satélite em 1987, Região Nordeste do RS. ....	87
<b>Figura 32</b> - Mapa temático com as áreas de Floresta Ombrófila Mista identificadas a partir das imagens de satélite em 2010, Região Nordeste do RS. ....	88
<b>Figura 33</b> - Relação das variáveis geomorfométricas e o mapa da Floresta Ombrófila Mista obtido a partir da imagem de 2010, Região Nordeste do RS. ....	90
<b>Figura 34</b> - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas na área de estudo analisada. ....	91
<b>Figura 35</b> - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas nas áreas de ocupação da Floresta Ombrófila Mista mapeadas em 1987. ....	95
<b>Figura 36</b> - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas nas áreas de ocupação da Floresta Ombrófila Mista mapeadas em 2010. ....	96
<b>Figura 37</b> - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas em áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Mista na região dos campos, em altitudes superiores a 830_m. ....	99
<b>Figura 38</b> - Mapa parcial do potencial de ocupação da floresta, com a representação das áreas classificadas como muito alto potencial e os polígonos mapeados em 2010, Região Nordeste do RS. Coordenadas UTM, datum WGS 84, fuso 22. ....	104
<b>Figura 39</b> - Mapa-síntese do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista, gerado a partir da análise multicritério, Região Nordeste do RS. ....	106
<b>Figura 40</b> - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação, Região Nordeste do RS. ....	107

- Figura 41** - Mapa-síntese do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista com a localização das sub-bacias hidrográficas com maior potencial florestal de ligação entre as bacias hidrográficas Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, Região Nordeste do RS. .... 109
- Figura 42** – Mapa do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na bacia hidrográfica do rio dos Touros, Região Nordeste do RS. .... 110
- Figura 43** - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação na bacia hidrográfica do rio dos Touros, Região Nordeste do RS. .... 110
- Figura 44** - Mapa do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na bacia hidrográfica do rio Cerquinha, Região Nordeste do RS..... 111
- Figura 45** - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação na bacia hidrográfica do rio Cerquinha, Região Nordeste do RS..... 111

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Principais características do satélite Landsat 5 TM. ....	49
<b>Tabela 2</b> - Relação dos erros observados no registro das imagens Landsat a partir da base de imagens GeoCover. ....	62
<b>Tabela 3</b> - Arquivos e Planos de informação disponíveis no banco de dados TOPODATA. ....	63
<b>Tabela 4</b> - Limites rígidos de classes de Declividade definidos pela EMBRAPA (1999). ....	64
<b>Tabela 5</b> - Classes de Curvatura Vertical e Horizontal. ....	64
<b>Tabela 6</b> - Limites dos valores de Orientação de Vertentes para a definição das octantes. ....	65
<b>Tabela 7</b> - Relação entre a estatística Kappa e o resultado da classificação por atribuições de qualidade. ....	68
<b>Tabela 8</b> - Áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada das imagens de satélite. ....	80
<b>Tabela 9</b> - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER da imagem Landsat, órbita 220, de 29 de junho de 1987. ....	81
<b>Tabela 10</b> - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 221, de 20 de junho de 1987. ....	81
<b>Tabela 11</b> - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 220, de 31 de agosto 2010. ....	81
<b>Tabela 12</b> - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 221, de 7 de setembro 2010. ....	82
<b>Tabela 13</b> - Área e valor percentual de Floresta Ombrófila Mista, obtidos a partir dos mapas temáticos de 1987 e 2010. ....	85
<b>Tabela 14</b> - Distribuição das variáveis geomorfológicas nas áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Mista. Legenda: o símbolo (=) indica sem preferência evidente. ....	100
<b>Tabela 15</b> - Matriz de confusão obtida a partir do mapa com as áreas projetadas como muito alto potencial de ocupação da floresta nativa e o mapa real da respectiva classe, mapeada em 2010. ....	103

**Tabela 16** - Comparação do conflito entre as classes potenciais de ocupação da floresta nativa e as informações da vegetação mapeada em 2010..... 104

**Tabela 17** - Análise quantitativa das sub-bacias hidrográficas de reconhecida importância para a indicação de áreas potenciais à ocupação da floresta nativa. .... 112

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>18</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 O Bioma Mata Atlântica.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1 Floresta Ombrófila Mista.....</b>	<b>20</b>
2.1.1.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial .....	21
2.1.1.2 Floresta Ombrófila Mista Montana.....	21
2.1.1.3 Floresta Ombrófila Mista Altomontana.....	22
2.1.1.4 Mata Nebular .....	22
<b>2.1.2 Estepe – Campo com Floresta de Galeria .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Relação entre Vegetação e Geomorfologia .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Ecologia de Paisagem .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1 Corredores Ecológicos .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Sensoriamento Remoto.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1 Comportamento Espectral da Vegetação .....</b>	<b>29</b>
2.4.1.1 Interação da Radiação com Dosséis Vegetais .....	31
<b>2.5 Classificação Supervisionada .....</b>	<b>33</b>

<b>2.5.1 Abordagem Fuzzy</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5.2 Máxima Verossimilhança (MAXVER)</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6 Avaliação Multicritério</b> .....	<b>36</b>
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1 Caracterização</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2 Aspectos Socioambientais</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3 Clima</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4 Geomorfologia</b> .....	<b>41</b>
<b>3.5 Condicionantes Ambientais da Vegetação</b> .....	<b>44</b>
<b>3.5.1 Ameaças à Diversidade</b> .....	<b>45</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1 Materiais</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.1 Dados Cartográficos</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.2 Dados de Sensoriamento Remoto</b> .....	<b>48</b>
4.1.2.1 Sensor Landsat.....	<b>48</b>
4.1.2.2 Geocover .....	<b>51</b>
4.1.2.3 Topodata.....	<b>51</b>
<b>4.1.3 Softwares e Equipamentos</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2 Métodos</b> .....	<b>56</b>
<b>4.2.1 Levantamento de Dados</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2.2 Trabalho de Campo</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2.3 Pré-Processamento dos Dados</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2.4 Mapeamento temático</b> .....	<b>65</b>
4.2.4.1 Acurácia da classificação.....	<b>67</b>
4.2.4.2 Produto do mapeamento temático.....	<b>68</b>
<b>4.2.5 Relações: Floresta e Variáveis Geomorfométricas</b> .....	<b>69</b>

<b>4.2.6 Indicação de Áreas para a Composição Florestal .....</b>	<b>70</b>
4.2.6.1 Avaliação por critérios múltiplos .....	70
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
<b>5.1 Características Gerais da Paisagem .....</b>	<b>74</b>
<b>5.2 Análise da Paisagem .....</b>	<b>79</b>
<b>5.3 Variáveis Geomorfométricas e a Área de Estudo .....</b>	<b>88</b>
<b>5.4 Padrão de Ocupação da Floresta Nativa .....</b>	<b>92</b>
<b>5.5 Análise de Áreas com Potencialidade para a formação de Floresta     Ombrófila Mista .....</b>	<b>101</b>
5.5.1 Estruturação da Análise.....	101
5.5.2 Produto final.....	102
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>113</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais possuem a maior diversidade e complexidade conhecidas, com riquezas taxonômicas em qualquer nível (espécie, gênero e família) e inter-relações de dependência (RICKLEFS, 1996).

A atividade humana ao longo das décadas ocupou o espaço geográfico, transformando a paisagem natural em um mosaico fragmentado de usos (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010). A matriz gerada pelo uso antrópico é resultante de atividades agropastoris, com inserções urbanas ou de serviços. No entanto, inseridos nesta matriz, ainda se encontram manchas dos ecossistemas originais, ou deles derivados, que funcionam como habitats naturais para a biota regional.

O desmatamento acelerado acarreta inúmeras consequências para a fauna e flora, e também para toda a região desmatada, expondo o ecossistema, que se desequilibra, trazendo prejuízos ecológicos e sociais e atingindo zonas rurais e urbanas (RICKLEFS, 1996). Como exemplo, tem-se o escoamento superficial de águas pluviais e a erosão acelerada, a diminuição da permeabilidade do solo, a diminuição no nível de base dos rios além do declínio da qualidade da água.

A fragmentação de habitat é a ameaça mais séria à diversidade biológica e é uma das principais responsáveis pela crise de extinção atual, acarretando prejuízos sérios como a diminuição do fluxo de animais, pólen e/ou sementes, a diminuição da diversidade biológica, o isolamento de populações, a redução da escala de recursos disponíveis, o aumento e a intensificação do efeito de borda no ecossistema e a perda do patrimônio genético das espécies, entre outros (METZGER, 1999; DÁRIO, 1999).

Muitas técnicas de análise têm sido consideradas fundamentais em estudos ambientais, tais como as utilizadas no Sensoriamento Remoto, aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (FREITAS & CRUZ, 2003). A utilização de imagens de satélite, junto ao crescente desenvolvimento de sistemas computacionais de tratamento digital de imagens caracteriza o Sensoriamento Remoto como uma tecnologia imprescindível no estudo e na análise de variações ambientais terrestres

(NOVO, 2008). Através do Sensoriamento Remoto é possível realizar uma avaliação rápida e eficiente de grandes extensões territoriais, permitindo mitigar de forma mais rápida os impactos oriundos da degradação ambiental que ocorrem atualmente.

### **1.1 Justificativa**

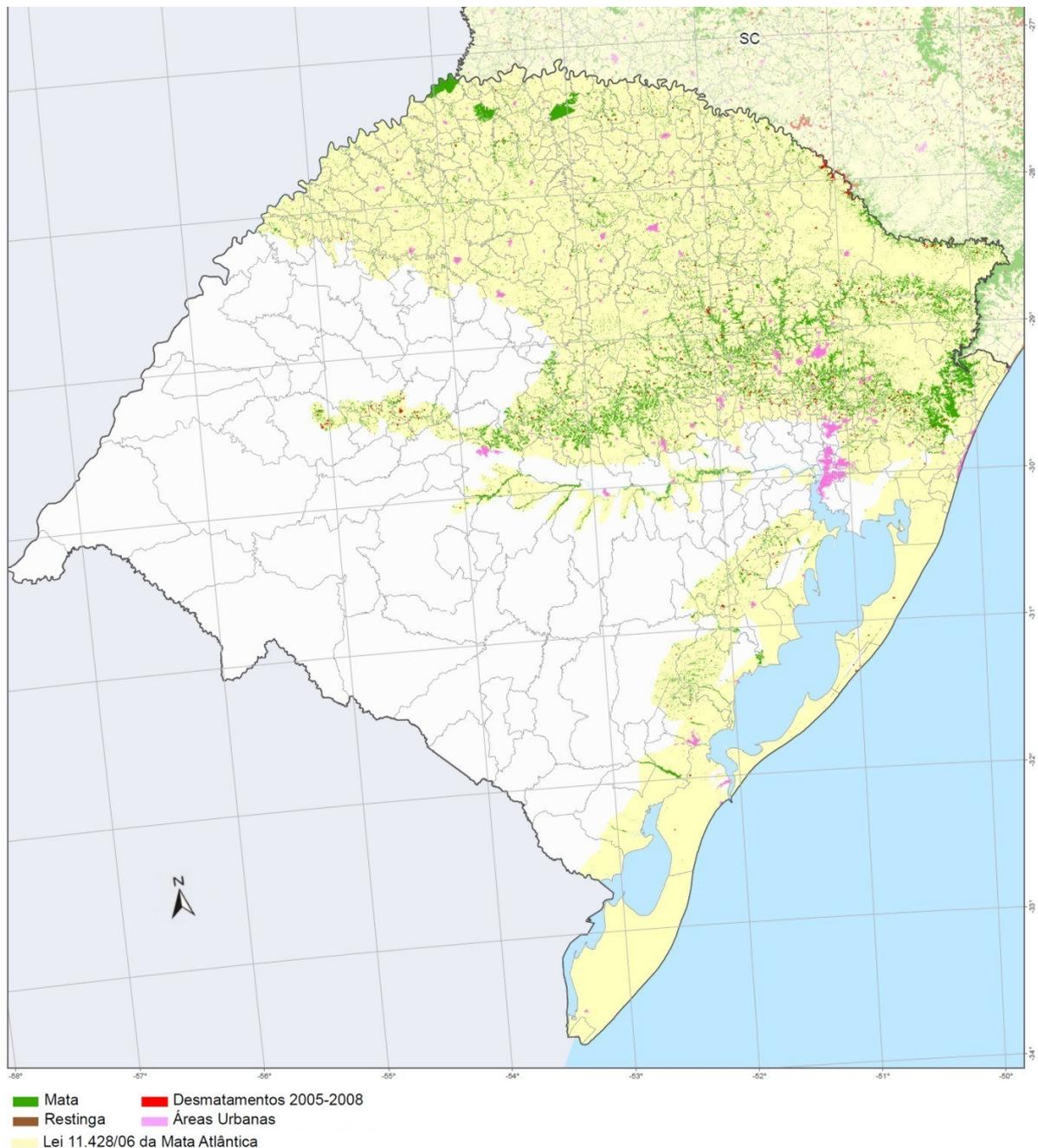
O Bioma Mata Atlântica constitui um importante centro de endemismo para diversos grupos de seres vivos. Alguns exemplos demonstram a rica e única fauna da região: são endêmicos da Mata Atlântica, 92% de 183 espécies de anfíbios; 71% de 150 espécies de répteis e 29% do total das espécies de aves (PACHECO & BAUER, 2001).

De acordo com o artigo 2º, da Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, consideram-se integrantes dessa região as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados, com as respectivas delimitações estabelecidas em mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, conforme regulamento: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste.

No Rio Grande do Sul, segundo dados de 2008, da Fundação SOS Mata Atlântica e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a área do bioma Mata Atlântica ocupa 13.759.380 hectares (ha), o que representa 48% do Estado, mas apenas 7,39% dessa área ainda possui cobertura florestal nativa remanescente, que se localiza na porção nordeste.

Além disso, de acordo com o “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”, para o período 2005 a 2008, foram desmatados ao menos 102.938 ha de cobertura florestal nativa, ou dois terços do tamanho da cidade de São Paulo. Conforme a análise, o desflorestamento neste período ocorreu nos 10 estados onde ocorre o bioma, mantendo a média anual de 34.121 ha de desflorestamento/ano, bem próximo da média anual identificada no período de 2000-2005, que foi de 34.965 ha de desflorestamento/ano. Deste total, 59 ocorrências são áreas acima de

100 ha, que totalizaram 11.276 ha, e 76% foram desflorestamentos menores que 10 ha. No Rio Grande do Sul, nesse último período de três anos, foram desmatados em torno de 3.117 ha de área de floresta nativa pertencente ao Bioma da Mata Atlântica (**Figura 1**).



**Figura 1** - Remanescentes florestais da Mata Atlântica mapeados até o ano de 2008 no Estado do Rio Grande do Sul e identificação de áreas de desmatamentos.

Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica / INPE

Conforme os dados do Ministério do Meio Ambiente (2007b), na região Sul do Brasil destaca-se a Floresta Ombrófila Mista, que ocorre na Região dos Campos de

Cima da Serra (Planalto Meridional) e é popularmente conhecida como Floresta com Araucária. Essa fitofisionomia florestal é classificada como de extrema relevância ecológica e enquadrada como área prioritária de conservação ambiental. Trata-se de vegetação com ocorrência praticamente restrita a essa região, cujo ritmo de desmatamento provocou a diminuição de sua área de distribuição a menos de 5% da superfície originalmente ocupada (MMA, 2002, 2007b).

Os Campos de Altitude, juntamente com as áreas de Floresta Ombrófila Mista, vêm sofrendo com ações antrópicas, em decorrência da contínua e rápida substituição, descaracterização e fragmentação dos diferentes ambientes que os compõem. A introdução de espécies exóticas, o avanço de extensas monoculturas como, por exemplo, espécies de *Pinus* e outras atividades agrícolas, o corte seletivo em remanescentes florestais, a construção de hidrelétricas e a drenagem/represamento de banhados representam as principais ameaças para a conservação desse ecossistema (BOLDRINI, 2009).

A análise da dinâmica das áreas de vegetação constitui importante fator para o planejamento e manejo da biodiversidade em paisagens, visto que estão diretamente ligados à dinâmica de uso da terra em áreas urbanas e rurais (VIANA, 1995).

Uma das propostas de estudo para as alterações que ocorrem na estrutura da paisagem em um determinado período de tempo consiste na análise de mapas temáticos (GUSTAFSON, 1998), que descrevem várias características físicas do território, bem como da situação atual e da dinâmica de uso e ocupação do mesmo.

Neste sentido, estudos referentes à dinâmica de uso da terra, de perda, de fragmentação, de regeneração de habitats e de condicionantes ambientais na área de abrangência da Mata Atlântica, tornam-se imprescindíveis, no sentido de obterem-se informações biológicas, geográficas e ecológicas de regiões ainda pouco estudadas. Este enfoque torna-se, assim, subsídio para a futura ampliação de áreas destinadas à conservação, bem como a manutenção da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA).

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo principal a análise da floresta pertencente ao Bioma Mata Atlântica e sua relação com variáveis geomorfológicas, em uma área localizada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Essa Região do Estado, que está inserida no Planalto Meridional é apontada por estudos de conservação como prioritária para a preservação e manutenção da biodiversidade da fauna e flora. A partir dessa análise, pretende-se a proposição de áreas que possam favorecer um maior potencial para a formação de floresta nativa (Floresta Ombrófila Mista). De forma específica, pretende-se atingir o objetivo principal através da:

- Identificação das áreas de Floresta Ombrófila Mista na porção dos Campos de Cima da Serra, na Região Nordeste do Rio Grande do Sul;
- Análise temporal quantitativa da ocupação dessa vegetação arbórea nativa;
- Caracterização da relação entre a distribuição da vegetação arbórea nativa e o comportamento das variáveis geomorfológicas, tais como: altitude, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e horizontal;
- Estabelecimento de parâmetros ambientais do terreno que influenciam na ocupação da vegetação arbórea nativa;
- Indicação de áreas que possam favorecer a formação de floresta nativa e a maior conectividade dessa vegetação entre as bacias hidrográficas Taquari-Antas, que envolve o rio das Antas, e a Apuaê-Inhandava, que envolve o rio Pelotas.

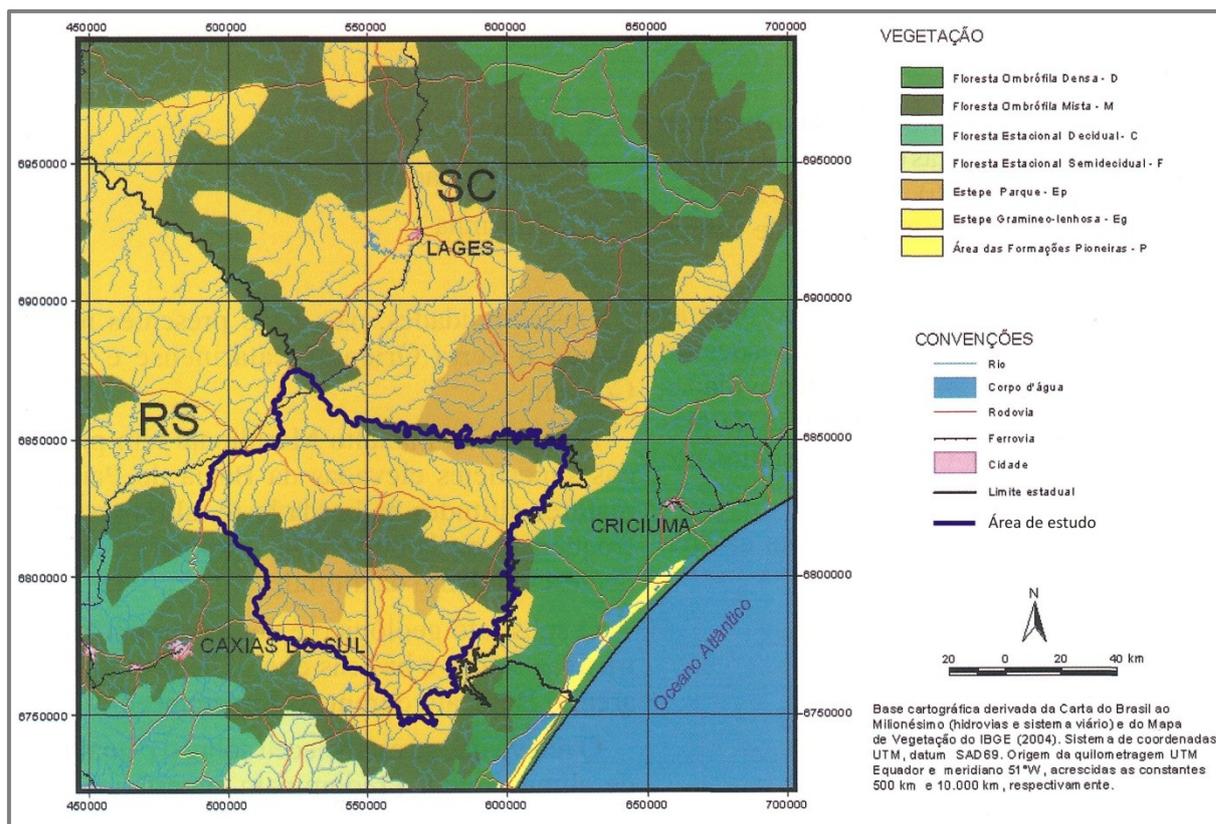
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O Bioma Mata Atlântica

A interação da biodiversidade com o meio físico denomina-se bioma. O bioma Mata Atlântica ocupa aproximadamente 15% do território nacional, com uma área de 1.300.000 Km<sup>2</sup>. Esse bioma está presente em 17 estados litorâneos brasileiros, estendendo-se até o Paraguai e a Argentina. Apresenta uma variedade de formações, onde se destacam as florestas Ombrófila Densa, Ombrófila Mista com a Mata com Araucárias, Estacional Semidecidual e Estacional Decidual (BOLDRINI, 2002 *apud* BOND-BUCKUP, 2010).

Apesar de abranger originalmente uma vasta área, restam somente 7% da área de sua formação florestal original, pois seu espaço geográfico foi ocupado por mais de 60% da população brasileira, que provocou grandes alterações na sua dinâmica natural. A Mata Atlântica vem sendo destruída por práticas não-sustentáveis como: a expansão da indústria; da agricultura; do turismo; e da urbanização desordenada (BOLDRINI, 2002 *apud* BOND-BUCKUP, 2010).

A vegetação natural junto aos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, integrante do Bioma da Mata Atlântica, segundo o Mapa de Distribuição da Vegetação do Brasil (IBGE, 2004 – Escala 1:1.000.000), pertence, em sua maioria, à região fitogeográfica da Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucárias), essencialmente Montana, e da Estepe (campos), formações Parque e Gramíneo-lenhosa (**Figura 2**).



**Figura 2** - Indicação da área de estudo sobre as regiões fitoecológicas ocorrentes nos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul.

Fonte: Adaptado de IBGE (2006) apud BOLDRINI (2009).

### 2.1.1 Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista, ou floresta com araucárias, é um tipo de vegetação típica do Planalto Meridional Brasileiro. Essa formação vegetal ocorria com maior frequência, antes da intensa ocupação que ocorreu especialmente a partir do início do século XIX (IBGE, 1992).

Em função da altitude e latitude, essa fitofisionomia florestal apresenta quatro formações diferentes, quais sejam: Aluvial (em terraços situados ao longo dos flúvios), Submontana (de 50 até aproximadamente 400 m de altitude), Montana (de 400 até mais ou menos 1.000 m de altitude) e Altomontana (quando situadas a mais de 1.000 m de altitude). Além destas, também ocorrem manchas da formação denominada por Matas Nebulares, associadas às elevadas altitudes dos Aparados da Serra (acima de 1.200 m de altitude).

Na Região dos Campos de Cima da Serra ocorrem as formações de mata Aluvial, Montana, Altomontana e Mata Nebular.

### 2.1.1.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial

Esta formação é típica das áreas ribeirinhas, ocupando os solos aluvionares e terrenos justapostos, nos estreitos flúvios das serras e nos platôs, inclusive adentrando em áreas de domínio dos campos naturais, formando as conhecidas matas de galeria ou matas ciliares.

Na Região dos campos, a Floresta Ombrófila Mista Aluvial é dominada visualmente pela *Araucaria angustifolia*, associada à *Podocarpus lambertii* (pinheiro-bravo) e *Drymis brasiliensis* (casca d'anta), entre outras.

À medida que a altitude diminui, a araucária associa-se a várias espécies das famílias Lauraceae (canelas) e Myrtaceae (guamirins e outros), principalmente, além de Meliaceae e Bignoniaceae (cedros e ipês). Destacam-se, ainda, a *Luehea divaricata* (açoitacavalo) e *Blepharocalix* spp. (murta) no estrato emergente, e *Sebastiania commersoniana* (branquilho), no estrato arbóreo contínuo, sobre os solos aluviais.

Em função da elevada concentração de umidade, nas florestas aluviais costumam ocorrer de forma expressiva as plantas epífitas (bromélias, orquídeas, musgos e líquens), além de diversas espécies de pteridófitas (samambaias) e xaxins, incluindo o xaxim-bugio (*Dicksonia sellowiana*), espécie constante da lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção, juntamente com o pinheiro-brasileiro.

Os rios e regatos que correm sobre lajeados em geral não suportam, por falta de profundidade dos solos, matas de galeria, mas sim uma vegetação ciliar arbustiva ou apenas a vegetação campestre.

### 2.1.1.2 Floresta Ombrófila Mista Montana

Esta formação, na atualidade, está praticamente restrita às poucas e insuficientes áreas protegidas em forma de Unidades de Conservação do Sul do Brasil, que representam aproximadamente 1% de sua área original. Outrora, a Floresta Ombrófila Mista Montana ocupava quase que inteiramente os planaltos situados acima de 500 m de altitude dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Os grandes agrupamentos praticamente desapareceram, cedendo lugar para monoculturas agrícolas de soja, milho, trigo, etc. (IBGE, 1992). A Floresta Ombrófila Mista que ocupava cerca de 70% dos planaltos sul-brasileiros, atualmente apresenta fragmentos isolados e dispersos.

Uma das principais ameaças aos já reduzidos remanescentes bem conservados de Floresta Ombrófila Mista são os projetos de aproveitamento hidrelétrico, em função do enchimento dos reservatórios e inundação de porções de mata nativa. Cita-se um exemplo, no limite norte do Estado, na calha do rio Pelotas e seus principais afluentes, que estão sendo afetados por projetos hidrelétricos.

#### *2.1.1.3 Floresta Ombrófila Mista Altomontana*

Localizada acima dos 1.000 m de altitude, esta formação se concentra com maior representatividade nas cristas da Serra Geral nos estados sulinos.

Assim como a formação Montana, tal fitofisionomia florestal foi intensamente explorada pelas atividades madeireiras, principalmente a partir da década de 1960, sobretudo a araucária (MMA, 2007).

A composição florística apresenta a dominância da *Araucaria angustifolia*, que sobressai do dossel da floresta, sendo bastante numerosa também nos estratos inferiores, onde se associa a vários ecótipos, dentre os quais merecem destaque: *Podocarpus lambertii*, *Drymis brasiliensis*, *Cedrela fissilis* (cedro), além de várias Lauraceae e Myrtaceae. No estrato arbustivo dominam as Rubiaceae e Myrtaceae, acompanhadas de Winteraceae, Lauraceae e Meliaceae, dentre outras.

#### *2.1.1.4 Mata Nebular*

As florestas montanas mostram uma associação direta entre redução no porte das árvores e o aumento altitudinal. Folhas menores e providas de caracteres xeromorfos mais acentuados também são evidenciadas na vegetação montana e altomontana. Dentre as florestas montanas, destaca-se uma vegetação florestal de porte reduzido, periodicamente encoberta pela neblina densa, conferindo-lhe caráter higrofilico. Essa vegetação é conhecida como “mata nebular”, e é típica de várias regiões montanhosas nos trópicos. A umidade quase permanente dessas matas,

associada com a altitude favorece o desenvolvimento de inúmeras espécies de epífitos, notadamente líquens, musgos e pteridófitas (MMA, 2007).

As matas nebulares em geral estão relacionadas a áreas onde a altitude situa-se entre 1000 a 2500 m, não sendo, contudo, um padrão único. A heterogeneidade ambiental e altitudinal confere um caráter disjunto a essas matas, tornando-as naturalmente de distribuição fragmentada, onde os níveis de endemismos são mais pronunciados.

Essa formação vegetal ocorre concentradamente nas cristas da Serra Geral, na região que corresponde aos limites leste do Planalto Sul-Brasileiro, ou Planalto Meridional. A vegetação é representada pela junção das duas principais formações florestais sul-brasileiras, a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista, sendo que, nessa transição, são encontradas as manchas de campos naturais e os fragmentos de matas nebulares.

### **2.1.2 Estepe – Campo com Floresta de Galeria**

O termo Estepe, de procedência Russa, foi extrapolado para outras áreas mundiais, inclusive a Neotropical sul-brasileira, por apresentar homologia ecológica (IBGE, 1992). As plantas estão submetidas a uma dupla estacionalidade nas regiões subtropicais onde as estepes ocorrem: uma fisiológica, provocada pelo frio das frentes polares; e outra seca, mais curta, com déficit hídrico.

Na região de estudo, são definidas duas formações campestres: Estepe Parque e Estepe Gramíneo-lenhosa (IBGE, 2004). Entre os campos, nos fundos de vale, ocorrem as florestas de galeria, de porte baixo, flanqueando algumas drenagens, constituídos de elementos florestais típicos da Floresta Ombrófila Mista, Alto Montana, Montana ou Aluvial (MMA, 2007).

Ocorrem dois tipos de campos: os secos e os úmidos. Nos campos secos predominam as gramíneas cespitosas, com destaque para espécies das famílias compostas e leguminosas na fisionomia da paisagem. Em menor quantidade, ocorrem também espécies de melastomatáceas, verbenáceas e solanáceas. Os campos úmidos representam a transição entre os campos secos e banhados. Neste locais, destaca-se a espécie *Paspalum pumilum*, gramínea que forma touceiras

circulares achatadas contra o solo, e as ciperáceas *Rhynchospora globosa* e *Bulbostylis sphaerocephala* (BOND-BUCKUP, 2010).

Os campos limpos, resultado de um pastejo mais intenso e das queimadas, têm predomínio de gramíneas. Os campos sujos, além das gramíneas, apresentam um grande número de espécies arbustivas. O capim-caninha (*Andropogon lateralis*) tem distribuição uniforme e abundante nas áreas com altitude em torno de 1.000 metros. *Andropogon macrothrix* é uma gramínea expressiva na fisionomia dos campos mais úmidos e nas maiores altitudes (BOLDRINI, 2002 *apud* BOND-BUCKUP, 2010).

Na atualidade, o excesso de queimadas e o pastoreio muito intensivo nas áreas de campo nativo podem levar à sua degradação, ocasionando, além da descaracterização completa da vegetação que, depois de degradada, evolui para formas de samambaias, vassourais e capoeiras, problemas relacionados à erosão, deslizamentos de encostas e vossorocamentos (MMA, 2007).

## **2.2 Relação entre Vegetação e Geomorfologia**

Segundo COBLENTZ & KEATING (2008) a distribuição das florestas em regiões montanhosas é influenciada pela geomorfologia do terreno e pelas variações de altitude. Esses fatores proporcionam um complexo gradiente ambiental, incluindo regimes de temperatura e precipitação (LAUER, 1981).

A formação do mosaico de vegetação nos Campos de Cima da Serra requer maiores estudos, pois o seu padrão de distribuição da paisagem não é bem compreendido ainda, em virtude de não haver distinção evidente de variáveis ambientais que justifiquem a existência de manchas florestais adjacentes aos campos (MULLER, 2005). Além do clima temperado úmido conferir à região uma uniformidade quanto à distribuição da precipitação ao longo do ano, não existem limitações edáficas para o desenvolvimento de florestas (PILLAR, 2003). Mesmo assim, a matriz permanece campestre e a floresta avança gradualmente e aos saltos (OLIVEIRA & PILLAR, 2004; DUARTE *et al.*, 2006), formando manchas florestais.

Certos autores sugerem que determinadas características de paisagem, em especial associadas ao relevo, possam influenciar esse padrão de vegetação

(PILLAR, 2003; MATTE, 2009). Nesse contexto, o desenvolvimento da floresta na região estaria associado aos locais cuja declividade e exposições do terreno predominante proporcionariam melhores condições de umidade no solo para a sua instalação.

Apesar de menos frequentes, os estudos que abordam as relações entre as variáveis topográficas e os tipos vegetacionais são de grande importância para o entendimento do ambiente biofísico de forma geral. Alguns trabalhos indicam que a elevação, em especial, e outras variáveis morfométricas locais como a declividade, orientação de vertente e curvatura do terreno estão relacionadas com algumas das alterações no padrão de distribuição de fitofisionomias (KIRKBY *et al.*, 1990; VELÁSQUES-ROSAS *et al.*, 2002; BISPO, 2007; PELOSO, 2009).

A declividade e a orientação de vertentes controlam, respectivamente, a intensidade e a direção de fluxos de matéria e de insolação. Desse modo, provocam efeitos locais sobre os regimes hídricos e de energia (GANDOLFI, 2000).

As relações entre a cobertura florestal e as variáveis topográficas foram estudadas por FLORINSKY & KURYAKOVA (1996). Neste estudo, foram consideradas as diferentes formas do terreno, em regiões de baixas temperaturas, ou altas latitudes, refletindo uma maior influência da insolação sobre a vegetação, controlada pela declividade e orientação de vertente.

FLORINSKY & KURYAKOVA (1996) consideram que o uso de modelos digitais de elevação e mapas de variáveis morfométricas para o estudo da vegetação são úteis nos seguintes casos: na compreensão das relações entre os componentes da paisagem; nas melhorias de mapeamentos da vegetação; na modelagem e previsão mais precisa das características da cobertura vegetal em paisagens naturais e antropogênicas; na estimativa das dinâmicas de destruição e restauração da cobertura vegetal; e na análise da influência da geologia sobre a estruturação da vegetação.

BISPO (2007) utilizou variáveis topográficas extraídas a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para avaliar a existência de preferências das fitofisionomias vegetais por determinadas condições topográficas. As variáveis mais importantes na distinção entre os tipos vegetacionais foram: a elevação; a curvatura horizontal; e a curvatura vertical. Na intenção de aprimorar a metodologia

e aumentar a área trabalho, diversificando o estudo, PELOSO (2009) seguiu a mesma linha de pesquisa e analisou a relações entre a distribuição da cobertura vegetal e a topografia do Parque Nacional da Serra do Cipó (MG). Na análise da morfometria, foram utilizadas as seguintes variáveis: altitude, declividade, orientação de vertentes, curvaturas vertical e horizontal.

### **2.3 Ecologia de Paisagem**

A paisagem é um mosaico composto por unidades distintas de ecossistemas ou ecótopos. As unidades da paisagem compõem uma matriz formada por um grupo de ecossistemas dominantes, contendo manchas ou fragmentos de outros ecossistemas, arranjados em padrões variáveis, conectados entre si ou isolados. As conexões entre os fragmentos são denominadas corredores ecológicos, pois funcionam como meio de passagem para a biota que ocupa os fragmentos. Cada unidade da paisagem possui estrutura, condições ambientais, funcionamento e percepções próprios e inerentes a sua área, disposição espacial e/ou forma (HOBBS, 1997; PUTZ *et al.*, 2001). A estrutura da paisagem é de suma importância para a conservação de populações, pois dela depende a sua dinâmica (METZGER, 1999).

O estudo da paisagem enfocando a análise da vegetação torna-se importante como uma avaliação primária para uma definição mais rápida de áreas de conservação, tendo em vista a dinâmica atual da degradação dos ambientes. Deste modo, uma abordagem alternativa consiste na análise puramente estrutural da paisagem (conservar fragmentos grandes e bem conectados), quando dados biológicos detalhados não estiverem disponíveis (METZGER, 2006).

No contexto de degradação ambiental e perdas irrecuperáveis de patrimônios biológicos, muitas vezes desconhecidos, a falta de informações e conhecimentos à respeito das espécies, dos ecossistemas e até mesmo dos componentes estruturais e físicos da paisagem, aliados à falta de metas claras de preservação, prejudicam a evolução da ciência conservacionista (WILCOVE, 1989).

A utilização do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas permite realizar a caracterização e a análise integrada dos elementos estruturais da paisagem, com a possibilidade de gerar novas metodologias eficientes

de análise ambiental, bem como propor ações de preservação dentro de um contexto espacial e temporal, facilitando a interpretação dos resultados por parte dos gestores ambientais, em função da multidisciplinaridade da técnica. A multidisciplinaridade é um importante aspecto, pois possibilita a padronização das técnicas científicas e dos termos utilizados pelos profissionais atuantes. Este fato favorece a comunicação entre as diferentes disciplinas e corrobora com métodos adequados para descrever as estruturas físicas e funcionais da paisagem (HOBBS, 1997).

Sobre as medidas de conservação da biodiversidade, o quadro geral de conservação na Mata Atlântica consiste na manutenção em diversos tipos de unidades de conservação, compondo um mosaico de fragmentos de habitats esparsos e relativamente isolados (MMA, 1998). Neste quadro, as Unidades de Conservação são potenciais sumidouros de espécies, ou seja, locais onde essas espécies têm risco de se extinguirem por erosão genética ou por susceptibilidade a distúrbios, devido à alta taxa de fragmentação de habitats da região. Um dos modelos de conservação defendido no meio científico é o modelo de unidades de conservação, conectados por corredores ecológicos, os quais formariam uma rede de habitats que possibilitariam a conexão genética das populações e aumento da biodiversidade (SODHI, 1999). Desse modo, a avaliação ambiental de áreas contíguas, mesmo sem a presença de Unidades de Conservação protegidas por lei, tende a diminuir o risco de isolamento das espécies e os estudos correspondentes podem contribuir para novas medidas de gestão ambiental por parte do Poder Público.

### **2.3.1 Corredores Ecológicos**

Corredores ecológicos são caracterizados por uma faixa de um tipo particular de cobertura do solo, que tem características estruturais diferentes em relação a suas áreas adjacentes. Dentre as principais funções dos corredores na paisagem, cita-se a estruturação de habitats para espécies específicas, promovendo a movimentação de animais e plantas e servindo de fonte de efeitos ambientais e bióticos (FORMAN & GODRON, 1986; FORMAN, 1995).

SZMUCHROWSKI & MARTINS (2001), analisando uma metodologia apoiada em geoprocessamento, para a indicação de corredores ecológicos interligando fragmentos florestais e Unidades de Conservação no município de Palmas – Tocantins - destacam que o manejo de corredores ecológicos não consiste em uma medida suficiente para a conservação das espécies (fauna e flora), tendo a necessidade de uma abordagem que alie corredor a uma rede regional de áreas protegidas.

JESUS & MIURA (2009) analisaram a concentração de fragmentos do bioma Cerrado com a relação área/perímetro. Pelo estudo, consideram que fragmentos de pequena área que estejam agrupados podem ser reconectados pela recomposição da paisagem e estabelecimento de corredores ecológicos.

Assim, o planejamento de corredores ecológicos requer a análise e integração de vários fatores, cujo processo, aplicado a um conjunto de dados, pode ser realizado por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (MARTINS *et al.* 1998).

## **2.4 Sensoriamento Remoto**

Qualquer processo onde informações a respeito de um objeto, área ou fenômeno são coletadas sem contato direto com ele, pode ser definido como sensoriamento remoto. Esse termo está associado às interações entre a energia eletromagnética e os materiais da superfície terrestre.

Através do sensoriamento remoto, pode-se obter informações da superfície terrestre por meio de imagens coletadas à distância. Essas informações dependem da energia eletromagnética refletida ou emitida por objetos (alvos de interesse) (JENSEN, 2009).

NOVO (1993) define o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, aeronaves, entre outros, desenvolvidos com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta.

### **2.4.1 Comportamento Espectral da Vegetação**

As técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam em um processo de interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e os diferentes objetos que se pretende estudar. Para que essas técnicas possam ser aplicadas, é preciso que ocorra a interação de objetos com a REM, especialmente quanto à reflexão da radiação e o seu registro por um sensor, para posterior análise dos dados para a extração de informações dos objetos pretendidos (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Os dados coletados em nível orbital são comumente utilizados no estudo da vegetação, por meio da geração e utilização de imagens pictóricas para a elaboração de mapas temáticos e/ou na avaliação espectral da cobertura vegetal em grandes áreas da superfície terrestre (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

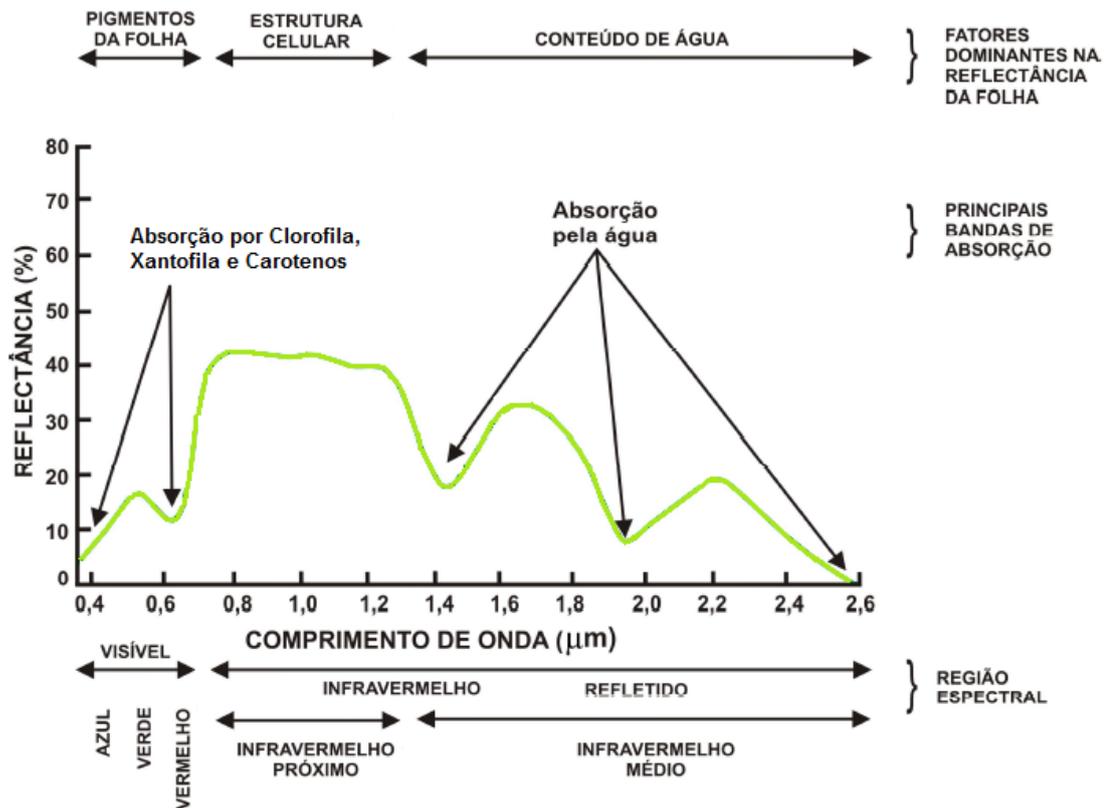
Os estudos em vegetação que envolvem técnicas de sensoriamento remoto buscam compreender a aparência que uma determinada cobertura vegetal assume em uma determinada imagem (produto), sendo esta o resultado de um complexo processo que envolve uma diversidade de parâmetros e fatores ambientais. Considerando os vários elementos de um dossel da vegetação (folhas, galhos, frutos, flores, etc.), um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um desses elementos estará sujeito a processos como: espalhamento (reflexão e transmissão) e absorção. A interação do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é então dependente de suas características (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização), e das características físico-químicas dos objetos observados.

Considerando todos os componentes estruturais da vegetação, a folha é o principal elemento quando se considera o processo de interação com a radiação eletromagnética incidente sob a sua superfície. Para a melhor compreensão das características de reflectância da REM incidente sobre uma folha, é necessário o conhecimento de sua composição química, principalmente o tipo e a quantidade de pigmentos fotossintetizantes, e de sua morfologia interna (distribuição e quantidade de tecidos, espaços intercelulares, etc.).

O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, sua morfologia e sua estrutura interna. Existem variações na resposta espectral média

da vegetação pela diversidade de espécies e pela organização (disposição) das mesmas no ambiente natural (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

A curva de reflectância característica de uma folha verde sadia é mostrada na **Figura 3**.



**Figura 3** - Curva de reflectância típica de uma folha verde.

Fonte: adaptado de SWAIN & DAVIS (1978).

A região do espectro eletromagnético compreendida entre 0,4 a 2,6 micrômetros (μm) pode ser dividida em três áreas: região do visível (0,4 μm a 0,7 μm); região do infravermelho próximo (0,7 μm a 1,3 μm); e região do infravermelho médio (1,3 μm a 2,6 μm).

Conforme SHIMABUKURO & PONZONI, (2002), os principais aspectos relacionados ao comportamento espectral da folha, em cada uma destas regiões são:

a) **Região do visível:** nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral. Estes pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Os valores

percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar grandemente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese.

b) **Região do infravermelho próximo:** nesta região existe uma absorção pequena da REM e considerável espalhamento interno na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região. A reflectância espectral é quase constante nessa região. GATES *et al.* (1965) determinam que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água/ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância.

c) **Região do infravermelho médio:** a absorção devido à água líquida afeta a reflectância das folhas nessa região do espectro. Considerando a água líquida, esta apresenta na região em torno de 2  $\mu\text{m}$ , uma reflectância geralmente pequena, sendo menor do que 10% para um ângulo de incidência de 65° e menor do que 5% para um ângulo de incidência de 20°. A água absorve consideravelmente a REM incidente na região espectral compreendida entre 1,3  $\mu\text{m}$  a 2  $\mu\text{m}$ . Em termos mais pontuais, a absorção da água se dá em 1,1  $\mu\text{m}$ ; 1,45  $\mu\text{m}$ ; 1,95  $\mu\text{m}$  e 2,7  $\mu\text{m}$ .

#### *2.4.1.1 Interação da Radiação com Dosséis Vegetais*

Considerando o processamento de informações digitais em imagens resultantes do sensoriamento remoto, o estudo das propriedades espectrais de folhas isoladas representa a compreensão básica dos processos. Porém, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a REM e os diversos tipos fisionômicos de dosséis vegetais (florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, etc.).

Considerando que a folha é o principal elemento da vegetação, espera-se que, quando comparadas as curvas de reflectância de uma folha verde sadia com as medições espectrais de dosséis, estas apresentam formas muito semelhantes. Essa semelhança permite que os padrões de reflectância apresentados pelos dosséis vegetais em imagens multiespectrais possam ser previstos (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Nesse sentido, um dossel vegetal apresenta valores de reflectância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM, para a realização da fotossíntese. Isto é evidenciado pela tonalidade escura nas imagens obtidas nessa região do espectro. Nas imagens da região do infravermelho próximo, verifica-se que estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela REM em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado, ainda, ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Finalmente, no infravermelho médio tem-se uma nova queda destes valores, devido à presença de água no interior da folha. Além desses, outros fatores também interferem na resposta espectral da vegetação: às sombras que se projetam entre as folhas, as quais são dependentes da geometria de iluminação, da Distribuição Angular das Folhas (DAF) e da rugosidade do dossel em sua camada superior (topo do dossel).

Vale salientar que o que é efetivamente medido pelo sensor colocado em órbita terrestre é a radiância espectral. Como cada sensor de cada banda espectral, na qual tal sensor é apto a coletar a REM refletida pelos objetos, possui sua própria sensibilidade, isso implica num “desbalanceamento” entre as radiâncias espectrais medidas. Esse desbalanceamento pode ocasionar diferenças de brilho de um mesmo objeto entre as bandas, ora subestimando-o, ora superestimando-o. Em trabalhos de caráter mais qualitativo, como a elaboração de mapas temáticos, tanto pela análise visual como pela aplicação de técnicas de classificação digital, as distorções radiométricas da imagem não constituem objeto de maior cuidado (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

## 2.5 Classificação Supervisionada

O princípio de classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflectância característicos para uma determinada classe.

Nas abordagens supervisionadas, o analista, a partir de um conhecimento prévio da cena, fornece informações específicas ao sistema de análise, possibilitando o seu treinamento no reconhecimento de classes pré-definidas. A partir dos elementos amostrais, que correspondem a padrões conhecidos das classes, são estimados os parâmetros estatísticos de cada classe e realizado o treinamento do algoritmo de classificação (RICHARDS & JIA, 1999).

Um importante pressuposto na estatística de classificação supervisionada, normalmente adotada no sensoriamento remoto é que cada classe espectral pode ser descrita por uma distribuição de probabilidade no espaço multiespectral. Isso é compreensível, uma vez que seria de imaginar que a maioria dos pixels em um *cluster* distinto ou classe espectral tendem para o centro e diminuiriam a densidade para as bordas da classe, o que se assemelha a uma distribuição de probabilidade (distribuição normal ou de Gauss) (RICHARDS & JIA, 1999).

A seleção das amostras de treinamento é essencial para que o processo classificatório seja bem sucedido. É importante que as amostras sejam bastante homogêneas e representem toda a variação possível dentro da classe. Quando são utilizadas técnicas estatísticas de classificação, as amostras de treinamento devem ser grandes o suficiente para que possa ser feita a estimativa das características espectrais da classe de interesse. A partir de então, no processo de classificação, todos os pixels, pertencentes ou não às amostras de treinamento deverão ser designados à classe para a qual a "probabilidade" de pertencerem é maior.

Dentre os vários classificadores disponíveis, o classificador Bayesiano é o mais utilizado, pelo fato de tratar-se de um classificador "ótimo", no sentido de que minimiza a probabilidade de perda total média condicional, ou risco médio (JAIN *et al.*, 2000). A estratégia consiste em classificar cada padrão de modo a minimizar a perda média sobre todo o conjunto a ser classificado. Este classificador leva em conta as probabilidades *a priori* de ocorrência de cada classe, e baseia-se nos histogramas das classes, para aproximar as funções de densidade de probabilidade,

que seguem o padrão normal de distribuição. Estas probabilidades são expressas pela regra de Bayes:

$$P(\omega_j \setminus x) = \frac{p(x \setminus \omega_j) \cdot P(\omega_j)}{p(x)} \quad (1)$$

Onde:

$p(x \setminus \omega_j)$  é a densidade de probabilidade condicionada à classe  $\omega_j$ ;

$P(\omega_j)$  é a probabilidade *a priori* para a classe  $\omega_j$ ;

$p(\omega_j \setminus x)$  representa a probabilidade *a posteriori* da classe  $j$ ;

$p(x)$  é um fator de escala.

O classificador deve, portanto, escolher a classe  $\omega_j$  cuja  $P(\omega_j / X) > P(\omega_i / X)$ , para todo  $i \neq j$ . Por convenção, a expressão é convertida em uma função discriminante:

$$g_i(x) = \ln(p(X/\omega_i)) + \ln(p(\omega_i)) \quad (2)$$

Assumindo que as classes de alvos naturais têm uma distribuição normal multivariada, a função discriminante é deduzida em:

$$g_i(x) = -\ln|\Sigma_i| - (X - m_i)^T \cdot \Sigma_i^{-1} \cdot (X - m_i) + \ln(p(\omega_i)) \quad (3)$$

Onde:

$m_i$  e  $\Sigma_i$  são, respectivamente, os vetores de média e a matriz de covariância de cada classe  $i$ , estimados pelos dados de treinamento.

### 2.5.1 Abordagem Fuzzy

FOODY (1992) optou pelo uso de uma classificação baseada na concepção *fuzzy* por considerar que os métodos rotineiros de classificação não são capazes de modelar satisfatoriamente ambientes contínuos.

Em comparação com outros métodos de classificação supervisionada, a abordagem *fuzzy*, na análise automática de imagens, classifica o pixel de acordo com o grau de associação que ele estabelece com os seus vizinhos e, como resultado final, gera-se um mapa no qual o pixel apresenta diferentes probabilidades de pertencer a cada classe. Esta situação é interessante, pois nos permite trabalhar com as imprecisões inerentes ao mundo real (JENSEN, 1996).

O ganho do uso da lógica *fuzzy* é a avaliação do grau de pertinência. Este método reúne todas as incertezas trazidas durante a definição das classes dos objetos e dos erros das coletas das amostras de treinamento, além daqueles erros inerentes aos sensores e aos sistemas de classificação propriamente ditos (BENZ, 1999).

GAMBA & LUCHIARI (2005) consideram a classificação *fuzzy* extremamente interessante de ser utilizada, por conta da possibilidade de obter-se uma imagem para cada categoria, especialmente em imagens multitemporais como as do satélite Landsat, onde são comuns as confusões espectrais pela similaridade nas assinaturas espectrais.

### 2.5.2 Máxima Verossimilhança (MAXVER)

É uma variação do classificador de Bayes, onde se assume que as probabilidades *a priori* sejam iguais ( $p(\omega_i)$ ) em todas as classes, portanto iguais a  $1/M$ , onde M corresponde ao número de classes espectrais. Deste modo, é introduzido um termo comum nas funções discriminantes das classes, simplificando-a em:

$$g_i(x) = -\ln|\Sigma_i| - (X - m_i)^T \cdot \Sigma_i^{-1} \cdot (X - m_i) \quad (4)$$

Com a mesma regra de decisão.

Este método é baseado no princípio de que a classificação errada de um pixel particular não tem mais significado do que a classificação incorreta de qualquer outro pixel na imagem (RICHARDS, 1993). O usuário determina a significância nos erros de atributos especificados para uma classe em comparação a outras. CRÓSTA (1992) considera que o método Maxver deve ser aplicado quando o analista conhece bem a imagem a ser classificada, para que possa definir classes que sejam representativas.

## **2.6 Avaliação Multicritério**

A análise multicritério é realizada com a hierarquização de fatores a serem considerados, com atribuição de pesos para cada um deles. Os fatores são também chamados critérios ou parâmetros. Os pesos representam valores, num intervalo de 0 a 1, que servem de multiplicadores dos fatores. O resultado (mapa-síntese) revela a favorabilidade a uma situação analisada, indicando um grau de maior ou menor restrição.

O método denominado Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* - WLC) utiliza uma padronização de fatores para uma escala contínua de aptidão de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), sem reduzir os dados a uma simples restrição *Booleana* (aceitar e rejeitar), que resulta em limites rígidos de decisão. No método WLC, é possível utilizar o conceito relativo ou *fuzzy* para definir as áreas de aptidão, bem como os limites de inaptidão, para os fatores considerados na análise. Mesmo assim, os resultados podem ser integrados ao caráter *Booleano* rígido. O procedimento WLC permite uma completa compensação entre todos os fatores, que é determinada conforme os pesos atribuídos (EASTMAN, 1997).

## 3 ÁREA DE ESTUDO

### 3.1 Caracterização

Nas áreas mais elevadas, próximas ao limite entre o Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), na porção nordeste do RS, inserido no Planalto Meridional, encontra-se o espaço geográfico denominado Campos de Cima da Serra. A área de estudo representa a parte superior das bacias hidrográficas dos rios Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, que corresponde a 9.004,38 km<sup>2</sup> e é limitada pelas seguintes coordenadas: projeção UTM, *datum* WGS84, fuso 22, 487883 - 622132 E e 6746117 – 6875309 N. O limite oeste da área de estudo foi delimitado considerando: a divisa entre as sub-bacias hidrográficas dos rios Socorro e Santana (bacia Apuaê-Inhandava); e na parte da bacia Taquari-Antas, as sub-bacias dos rios Refugiado e Lajeado Grande, e dos arroios Gaúcho e Mulada. Essa Região, que compreende os campos, abrange os municípios de: Bom Jesus; São José dos Ausentes; Cambará do Sul; Jaquirana; São Francisco de Paula; Caxias do Sul; Monte Alegre dos Campos; Campestre da Serra; e Vacaria (**Figura 4**).

A região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra mostra uma complexa fisionomia natural, com matas de araucária, campos com formações florísticas diversas, cursos d'água típicos de altiplanos e banhados. O contato do campo com a floresta ocorre tanto em bordas de florestas contínuas, quanto em manchas que costeiam os rios ou em capões de mato vinculados a nascentes. Em meio à vegetação campestre, especialmente nas coxilhas, ocorrem os afloramentos de rochas vulcânicas, muitas vezes cobertos por líquens, que lhes conferem uma cor esbranquiçada.

Nesta Região, encontram-se as cabeceiras de duas grandes bacias hidrográficas: a do rio Uruguai; e a do rio Jacuí. Além dessas bacias, encontram-se ainda pequenas porções das cabeceiras dos rios Maquiné, Três Forquilhas e Mampituba, formadas por arroios pequenos que descem pelas escarpas a leste dos Campos de Cima da Serra (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

O rio Uruguai recebe esse nome a partir do encontro dos rios Pelotas e Canoas, sendo a divisa estadual entre o RS e SC, e o limite do Brasil com os países Uruguai e Argentina. A bacia do rio Uruguai destaca-se pela sua extensão territorial, distribuindo-se por 73% do território do RS e 27% de SC (MMA, 2002 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

A outra bacia hidrográfica, representada pelo rio Jacuí, localiza-se no nordeste do RS e abriga as nascentes dos rios Caí e Taquari-Antas. Esses rios integram a bacia hidrográfica do lago Guaíba. A bacia hidrográfica do sistema Taquari-Antas equivale a 9% do território gaúcho, com 98 municípios nela inseridos, de forma total ou parcial (FEPAM, 2002 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

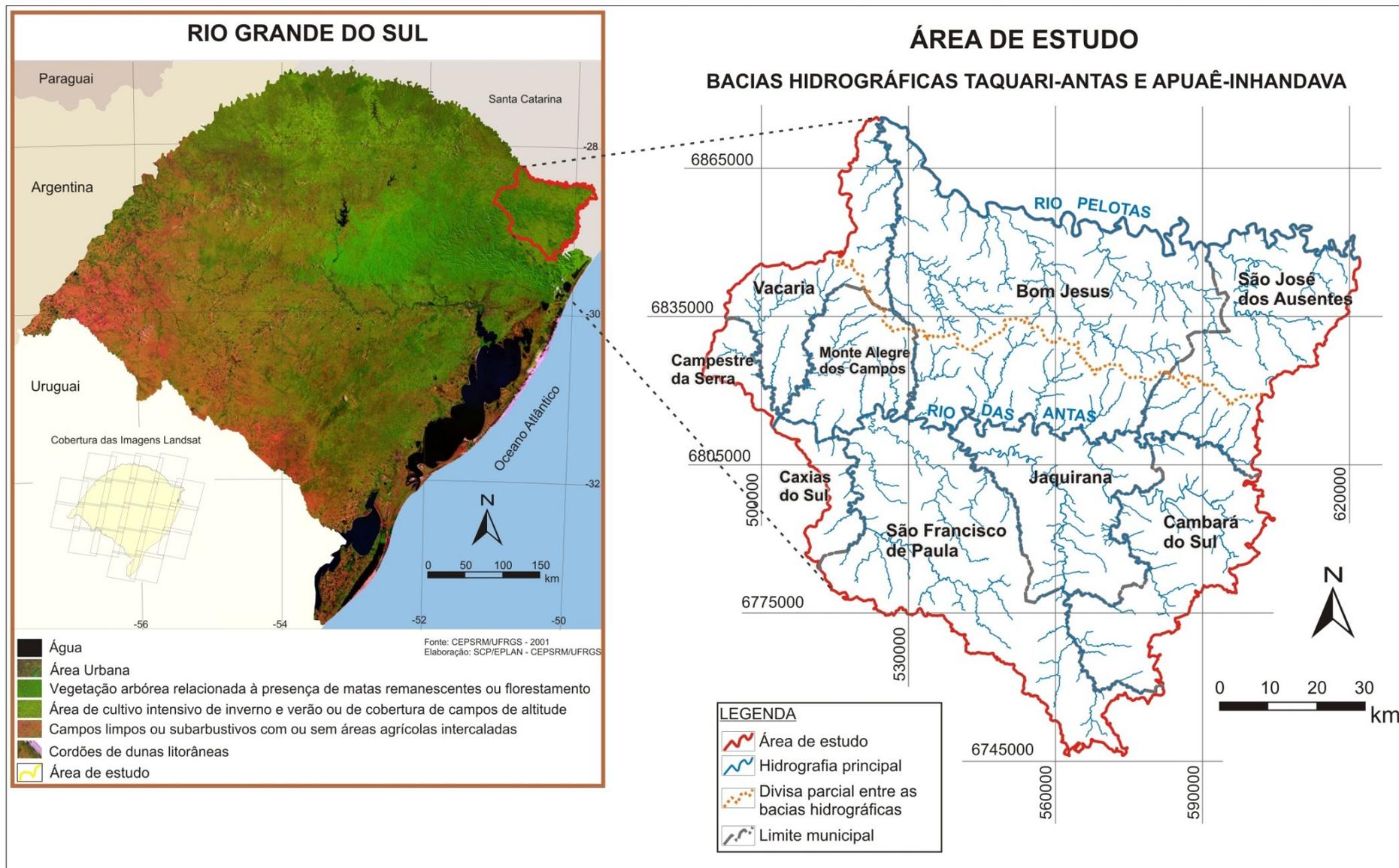


Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo, junto à Região dos Campos de Cima da Serra, no Planalto Meridional do RS.

### 3.2 Aspectos Socioambientais

Nos séculos XVIII e XIX, início da efetiva colonização da região, as atividades humanas estavam voltadas para os ciclos do couro e do charque, e seguiu-se o ciclo da madeira. A exploração das florestas nativas foi intensa até o final do século XX. No século XIX a Mata Atlântica cobria 15% do território nacional, em uma área praticamente contínua. Atualmente, restam apenas cerca de 7% da sua formação original, sendo que esses remanescentes florestais encontram-se em sua maioria fragmentados, ameaçando desse modo a sobrevivência de muitas espécies (BOLDRINI, 2002 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

A utilização dos Campos de Cima da Serra pelo homem vem, portanto, de longa data. Ao ocupar essa Região e iniciada a exploração dos recursos naturais, foi promovida a descaracterização deste ambiente, pois o seu desenvolvimento econômico foi baseado na exploração dos recursos naturais em vários momentos históricos (KAISER & ZOTZ, 2006 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010; MMA, 2007).

Na Região dos Campos de Cima da Serra, a alteração da paisagem resultou no desaparecimento da cobertura florestal e a redução da diversidade arbórea, ambas provocadas pelo extrativismo madeireiro, especialmente ao longo dos rios e encostas (KAISER & ZOTZ, 2006 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010). Isso torna difícil a delimitação com maior certeza quanto ao real perímetro das áreas originais de campos naturais, bem como das matas nativas (MMA, 2007).

As gramíneas aparecem naturalmente nos solos rasos de morros e vales dos Campos de Cima da Serra, permitindo, ao longo dos séculos, que fossem desenvolvidas atividades de pecuária (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

A proliferação esparsa de pequenos aglomerados humanos e de seus cemitérios, todos associados a grandes fazendas de criação de gado é ainda hoje uma marca da Região dos Campos de Cima da Serra (MMA, 2007). Com o passar dos anos, a criação de gado sempre foi a atividade econômica rural mais importante nessa Região. Entretanto, algumas práticas adotadas no manejo do gado ainda contribuem para o desaparecimento de espécies vegetais e animais da fauna nativa (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

O manejo dos campos, com o pastejo em suas diversas intensidades e o uso do fogo, gera na paisagem uma fisionomia de campos limpos ou campos sujos. As

gramíneas, que crescem em solos rasos, sob uma intensa radiação solar e ventos fortes, são as determinantes principais da fisionomia dos Campos de Cima da Serra. Campos limpos, em função de um pastejo mais intenso e uso do fogo, têm predomínio de gramíneas; ao contrário dos campos sujos que, além das gramíneas, apresentam um grande número de espécies arbustivas. O uso do fogo é uma prática comum após o inverno, para facilitar o rebrote das espécies na primavera (BOLDRINI, 1997 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

A silvicultura é uma atividade de importância econômica, mas que poucas vezes adotou critérios ecológicos de sustentabilidade. As consequências dessa monocultura sobre a biota vão desde a diminuição da fauna nativa, destruição da cobertura vegetal original, perda de nutrientes do solo até a permanência de uma serrapilheira com reduzido poder de compostagem (TAMANINI *et al.*, 2007 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

### **3.3 Clima**

A Região possui o clima mais frio do sul do país, como chuvas ocorrendo em todos os meses do ano, sem uma estação seca bem definida. A precipitação média anual varia de 1.500 a 1.700 mm.

Em junho e julho ocorrem temperaturas mínimas absolutas abaixo de 0°C. No inverno, a média diária da temperatura costuma ficar abaixo dos 10.5°C; e nos meses mais quentes, a temperatura média fica abaixo dos 19°C (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

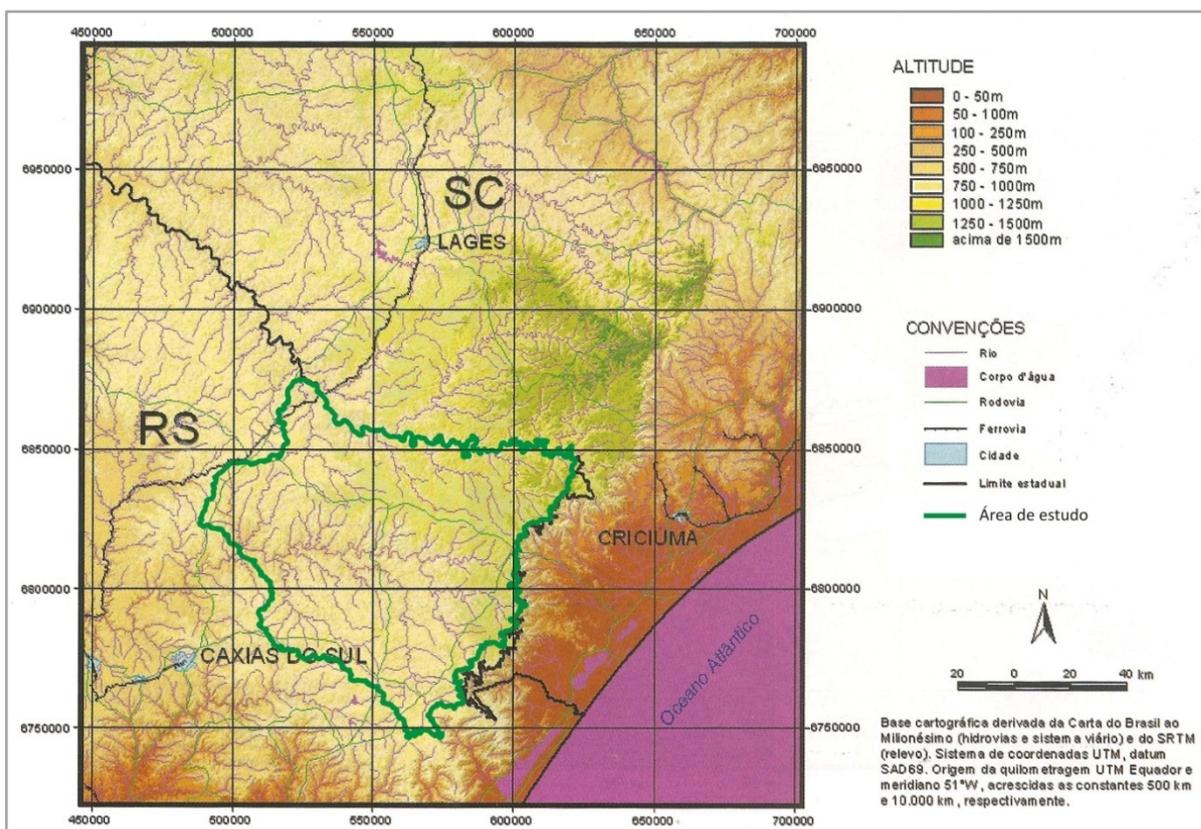
Conforme a classificação de Köppen, o clima da Região é classificado como do tipo “Cfb”, igualmente conhecido como temperado úmido, favorecendo as formações florestais. Esse tipo de clima apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperatura do mês mais quente inferior à 22°C.

### **3.4 Geomorfologia**

Nos Campos de Cima da Serra, inseridos na área do Planalto Meridional, predominam as rochas efusivas da formação Serra Geral, de idade Juro-Cretácea, originadas por derrames sucessivos de lavas, ocorridos, principalmente, entre 120 e

135 milhões de anos. Nessa Região, predominam rochas de caráter mais ácido, tais como dacitos e riódacitos felsíticos, riolitos felsíticos, basaltos pórfiros e fenobasaltos vítreos (HORBACH *et al.*, 1986). Estas rochas, por seu maior conteúdo de sílica, apresentam mais resistência ao intemperismo e, por isso, geralmente ocorrem em relevo tabular de platô. A continuidade física deste relevo é interrompida apenas junto ao leito dos rios, os quais, com seu continuado trabalho erosivo, acabam por expor o basalto subjacente. Nas imediações dos vales dos rios Pelotas, Antas e Touros e seus afluentes principais, predomina o basalto (HORBACH *et al.*, 1986).

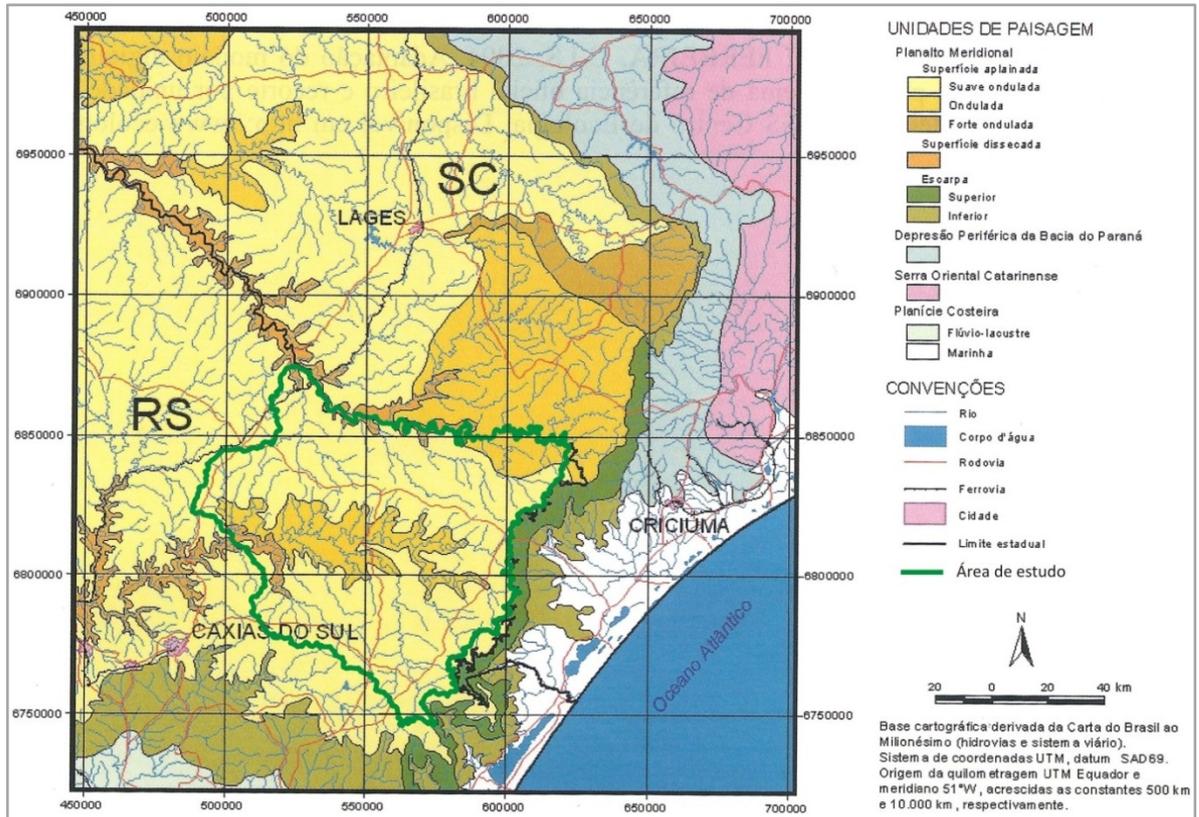
A Região tem o predomínio das superfícies elevadas, com maiores altitudes na borda leste, ultrapassando com frequência os 1.000 metros de altitude. De leste para oeste há um decréscimo lento de altitude (**Figura 5**).



**Figura 5** – Classes de altimetria da Região dos Campos de Cima da Serra.

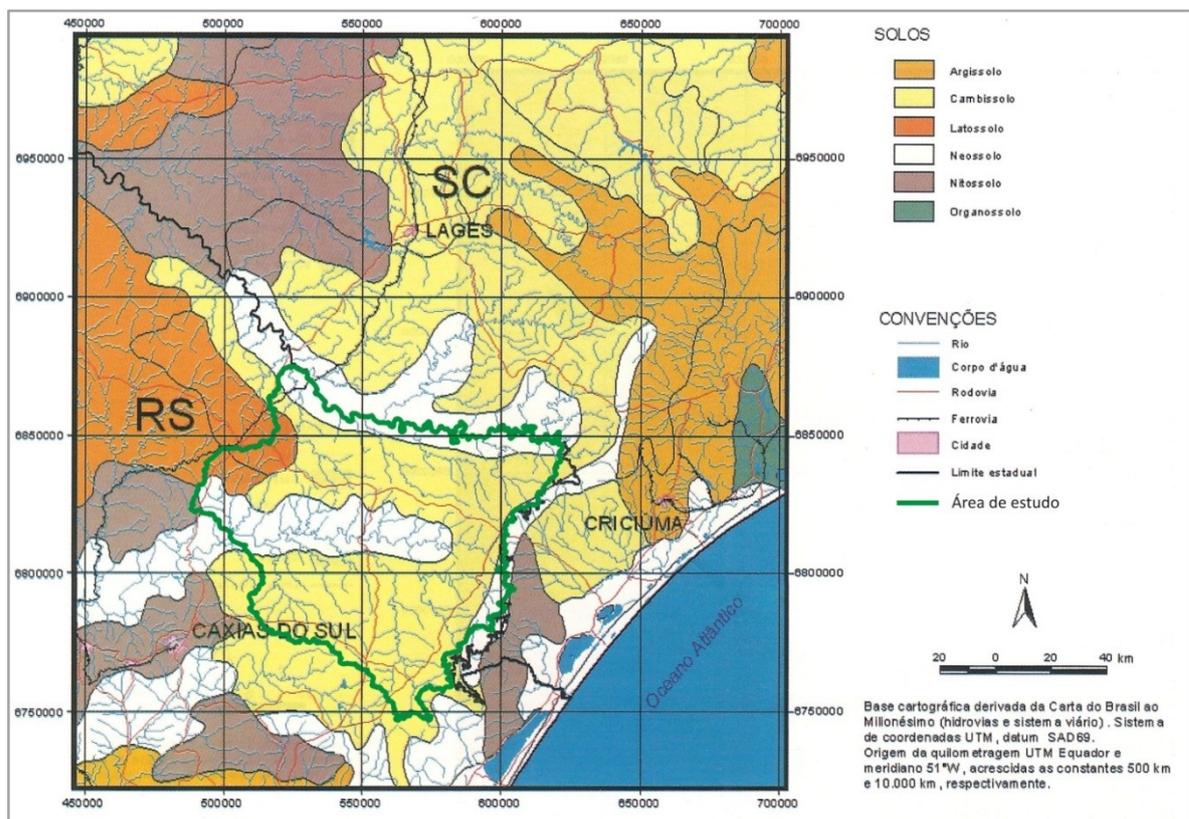
Fonte: adaptado de BOLDRINI (2009).

Segundo BOLDRINI (2009), no relevo que se estabeleceu sobre o planalto predominam superfícies de suave a forte onduladas, embora os rios de maior porte tenham provocado dissecações no relevo, criando vales encaixados (**Figura 6**).



**Figura 6** - Unidades da paisagem presentes na área de estudo.

Fonte: adaptado de BOLDRINI (2009).



**Figura 7** - Grupos de solos existentes na área de estudo.

Fonte: adaptado de IBGE (2006) apud BOLDRINI (2009).

Quanto aos solos, na Região dos Campos de Cima da Serra, são pobres na sua composição química. Na parte leste do Planalto, geralmente eles apresentam pouca profundidade e são classificados como cambissolos, originados de derrames ácidos. Na parte oeste da Região, predominam solos profundos, do tipo latossolo bruno, formados a partir de basalto (HORBACH *et al.*, 1986 *apud* BOND-BUCKUP *et al.*, 2010) (**Figura 7**).

### 3.5 Condicionantes Ambientais da Vegetação

As florestas são mais recentes do que os campos e estão relacionadas à maior umidade no ambiente e a solos mais profundos. Nos Campos de Cima da Serra podem ser encontradas: a Mata com Araucária; a Mata Nebular; e as Matas Ciliares. Enquanto que a Mata com Araucária distribui-se por áreas mais contínuas, a Mata Nebular localiza-se junto aos penhascos e a Mata Ciliar margeia os rios (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

Além da influência antrópica, o clima e as suas mudanças alteram os ambientes de uma região. Estudos comprovam que os campos são anteriores às florestas, baseados na análise do pólen de plantas antigas (BEHLING *et al.*, 2004; ROTH & LORSCHETTER, 1991).

A configuração atual da paisagem composta por campos e por florestas com o predomínio de araucárias (*Araucaria angustifolia*) é resultado de um longo processo evolutivo (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010; BOLDRINI, 2009). O clima atual, predominantemente temperado úmido, tornou-se favorável às formações florestais. No período compreendido entre 42 e 10 mil anos, antes do presente, predominava um clima frio e seco, sendo que os campos dominavam toda a região. As florestas estavam restritas a pequenas manchas em fundo de vales. Entre 10 e quatro mil anos atrás, as temperaturas se elevaram, mas o clima permaneceu seco, limitando assim a expansão das florestas sobre as áreas de campo. Além disso, no início do Holoceno há indícios de queimadas mais frequentes, o que também retardou o avanço de espécies arbóreas. Há quatro mil anos, quando o clima se tornou mais úmido, a floresta com araucária (Floresta Ombrófila Mista) começou um processo gradual de expansão sobre os campos, o qual tornou-se mais expressivo até cerca de mil anos atrás (BEHLING, 2002; BEHLING *et al.*, 2004).

MATTE (2009) apresentou um modelo simples de regressão logística múltipla para descrever a hipótese de que o processo de expansão florestal na região dos campos, no Nordeste do RS, não ocorre uniformemente na paisagem, pois existem características de relevo que tornam determinados locais mais favoráveis à ocupação de manchas florestais em relação aos demais. Hipótese similar foi sustentada inicialmente por KLEIN (1975) e PILLAR (2003) para explicar a existência das florestas no ambiente campestre, mesmo assim, existem poucas distinções quanto aos fatores que favorecem o estabelecimento de manchas florestais nesse ambiente.

Atualmente, nas áreas de pecuária, o pastoreio e as práticas de queimadas associadas se encarregaram de manter a “estabilidade” dos campos existentes, impedindo a sucessão secundária da vegetação florestal (MMA, 2007).

### **3.5.1 Ameaças à Diversidade**

A fragmentação de habitats contribui para o desaparecimento das espécies (CERQUEIRA *et al.*, 2003). O desmatamento e a substituição dos campos nativos por lavouras de árvores exóticas tende a diminuir os recursos de animais de maior porte, devido à falta de espaço físico necessário para a sua sobrevivência (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

O labirinto de galerias e capões de florestas, imersos numa matriz campestre, criou nichos únicos, onde processos biológicos particulares se estabeleceram. Considerando as múltiplas possibilidades de intervenções humana no ambiente, essa Região torna-se um berço potencial de espécies raras/endêmicas, sendo a maioria delas ainda desconhecidas, muitas certamente já extintas (MMA, 2007).

As fisionomias características de campo e floresta estão sendo rapidamente modificadas pelo plantio de espécies exóticas, como do gênero *Pinus*, e pela expansão agrícola, inclusive em Áreas de Preservação Permanente, infringindo a legislação de proteção ambiental (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010; MMA, 2007).

Junto à expansão agrícola, incluindo a silvicultura, ocorre também a drenagem artificial de campos úmidos, incluindo áreas de nascentes,

comprometendo a qualidade do recurso hídrico, além de prejudicar a fauna e flora nativas associadas a esses ambientes naturais (MMA, 2007).

O avanço das fronteiras urbanas sobre os espaços naturais, pela expansão de vilas e cidades serranas, contribui para a redução das áreas naturais, ocupadas por campos e florestas. Em uma perspectiva de sustentabilidade ambiental, devem ser realizados grandes esforços para a tentativa de repovoamento de áreas degradadas com a cobertura vegetal original e com a fauna associada a ela (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010).

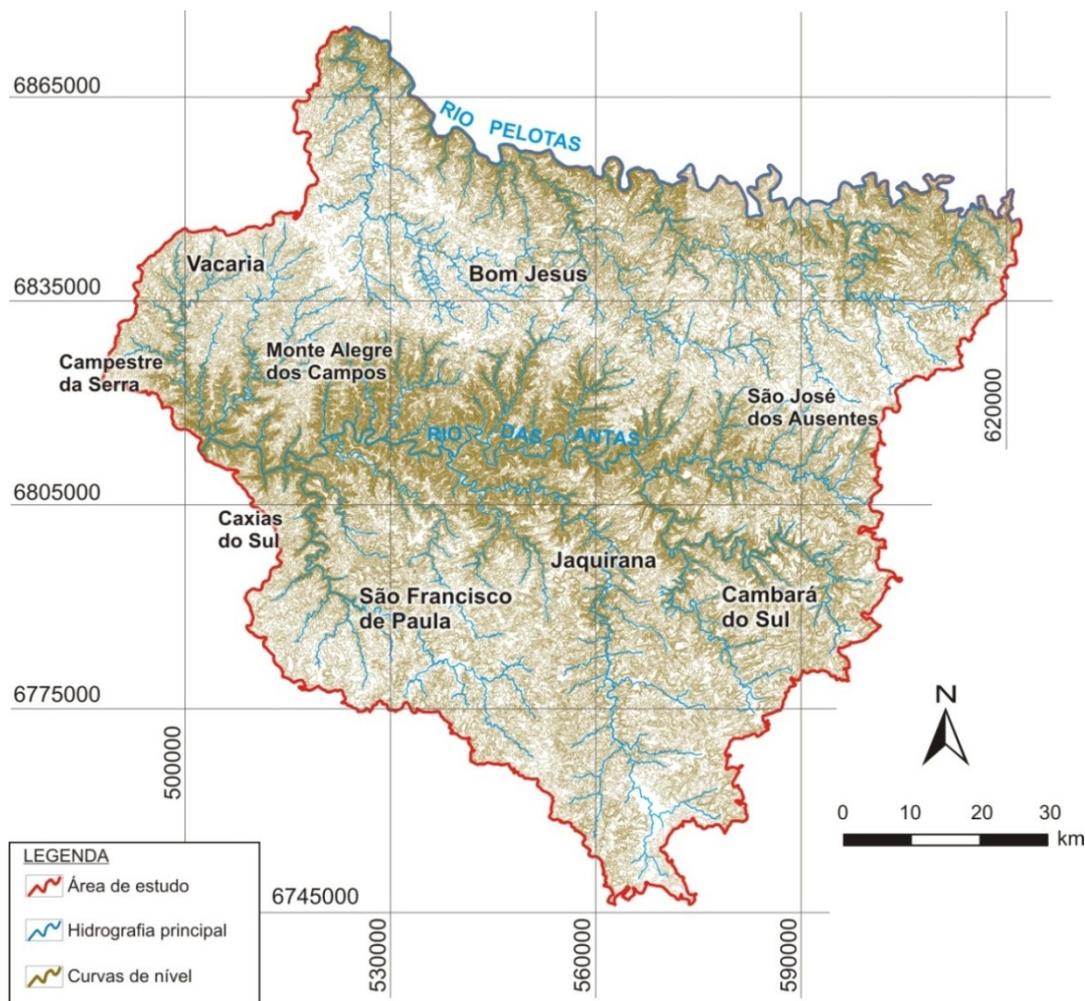
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Nesse capítulo são apresentados e descritos os materiais e equipamentos necessários para a elaboração do trabalho.

#### 4.1.1 Dados Cartográficos

Os dados cartográficos foram obtidos por meio digital, através de um DVD que compõe a base vetorial do Rio Grande do Sul (RS), gerada a partir das cartas em escala 1:50.000, da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército, vetorizadas, editadas, sistematizadas e estruturadas para uso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (HASENACK & WEBER, 2010). Nessa base vetorial, foram extraídas as informações referentes à hidrografia e curvas de nível (originalmente com 20 metros de equidistância) (**Figura 8**).



**Figura 8** - Mapa com o recorte da área de estudo com a sobreposição das curvas de nível e a hidrografia principal, obtidas a partir da base vetorial do Rio Grande do Sul.

## 4.1.2 Dados de Sensoriamento Remoto

### 4.1.2.1 Sensor Landsat

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançou em julho de 1972 o primeiro dos sete satélites da série do programa espacial Landsat, cujo enfoque do seu esforço era sobre o Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais Terrestres.

Dos sete satélites lançados pelo Programa Landsat desde 1972, seis forneceram imagens da Terra, sendo que o Landsat 5 continuava ativo até o ano de 2010, desde o seu lançamento, em março de 1984. O satélite Landsat 5 operava com dois tipos de instrumentos: o *Thematic Mapper* (TM) e o *Multispectral Scanner* (MSS).

O satélite Landsat 5 possui uma faixa de imageamento de 185 x 185 km; resolução temporal de 16 dias; uma órbita polar, circular e heliossíncrona, com uma altitude média de 705 km em relação à Terra; inclinação de 98,20° e tempo de duração da órbita de 98,20 minutos. As principais características de imageamento do sensor TM encontram-se listadas na **Tabela 1**.

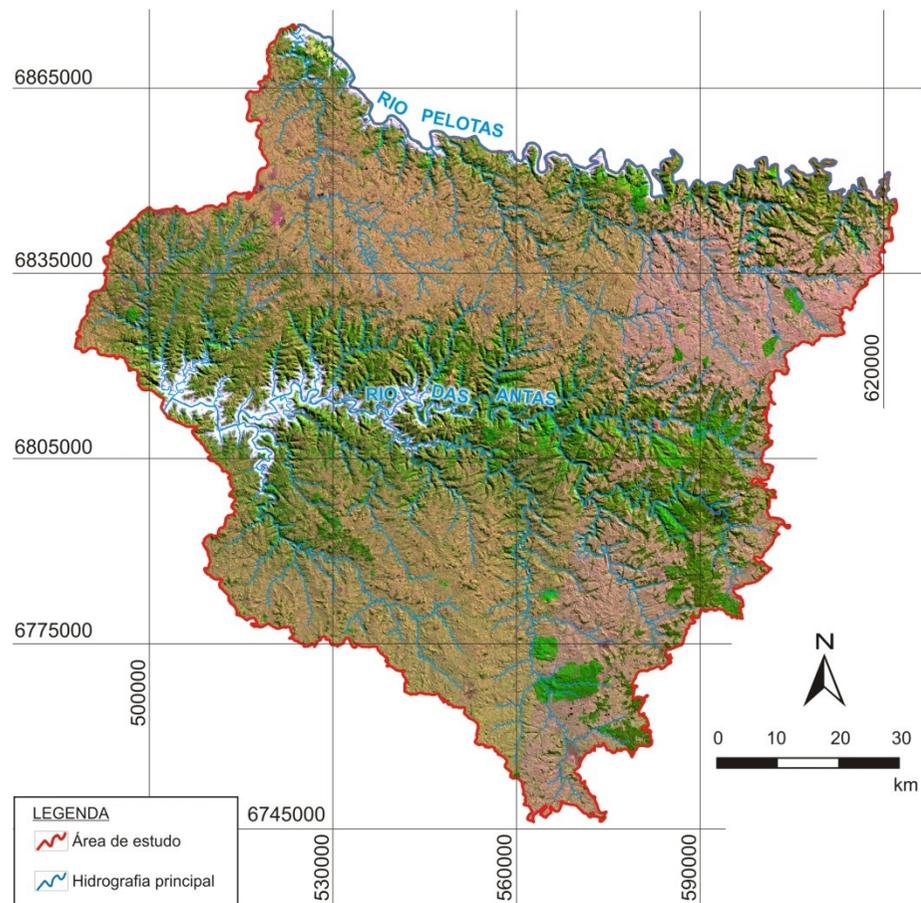
**Tabela 1** - Principais características do satélite Landsat 5 TM.

<b>Banda</b>	<b>Faixa espectral</b>	<b>Espectro</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>
1	0,45 a 0,52 $\mu\text{m}$	azul	30 m
2	0,52 a 0,60 $\mu\text{m}$	verde	30 m
3	0,63 a 0,69 $\mu\text{m}$	vermelho	30 m
4	0,76 a 0,90 $\mu\text{m}$	infravermelho próximo	30 m
5	1,55 a 1,75 $\mu\text{m}$	infravermelho médio	30 m
6	10,4 a 12,5 $\mu\text{m}$	infravermelho termal	120 m
7	2,08 a 2,35 $\mu\text{m}$	infravermelho distante	30 m

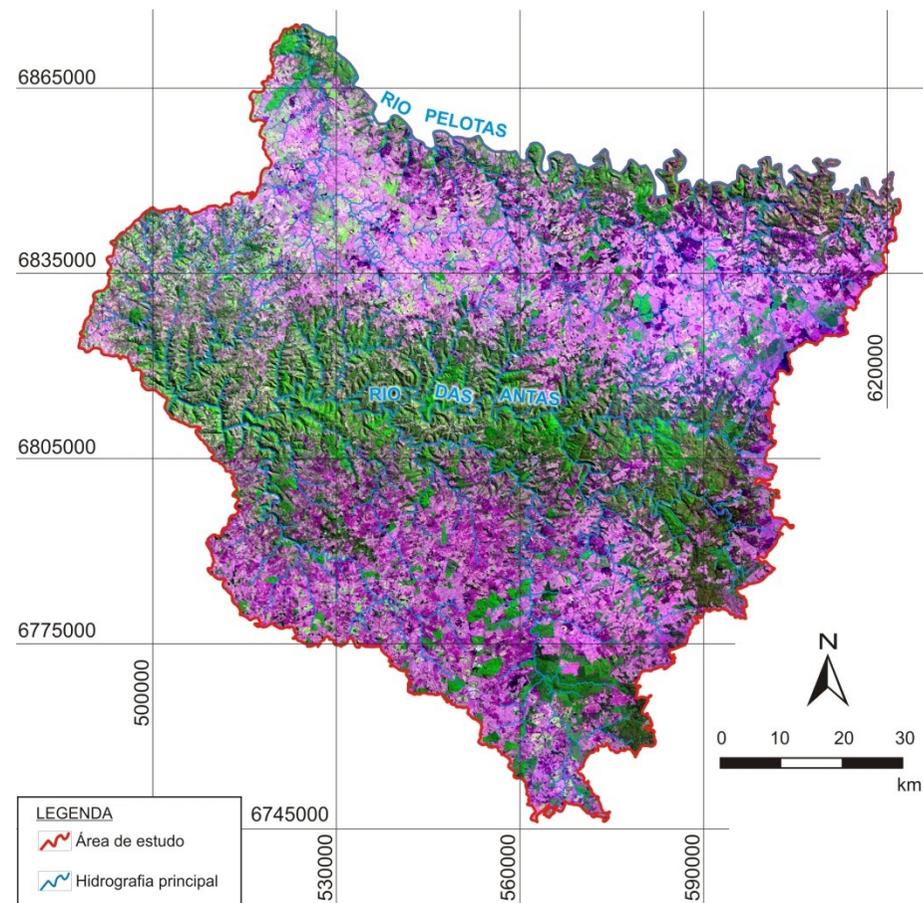
Fonte: INPE – DGI (2011).

Foram obtidas imagens de satélite da série Landsat 5, sensor TM, com resolução espacial de 30 metros, bandas 1 a 7 (excluída a banda 6 – resolução espacial de 120 metros), que envolveram cenas de duas órbitas-ponto, a 220-80 e a 221-80, obtidas respectivamente nos dias 29 e 20 de junho de 1987 (**Figura 9**), e nos dias 31 de agosto e 7 de setembro de 2010 (**Figura 10**) (INPE, 2010).

As imagens foram escolhidas para que a análise contemplasse um maior intervalo de tempo possível, com uma baixa influência de nuvens na cena. As imagens foram obtidas no período do inverno, o que favoreceu o maior contraste entre a vegetação arbórea e as áreas de campo, bem como uma melhor diferenciação entre a floresta nativa e a floresta exótica, pelas características relacionadas ao vigor e à concentração de pigmentos fotossintéticos das folhas.



**Figura 9** - Mosaico de imagens do satélite Landsat-5 TM, com realce linear de contraste (2%), órbita-ponto 200-80 e 221-80, dos dias 29 e 20 de junho de 1987, composição colorida R(5)G(4)B(3), Região Nordeste do RS.



**Figura 10** - Mosaico de imagens do satélite Landsat-5 TM, com realce linear de contraste (2%), órbita-ponto 200-80 e 221-80, dos dias 31 de agosto e 7 de setembro de 2010, composição colorida R(5)G(4)B(3), Região Nordeste do RS.

#### 4.1.2.2 Geocover

O *Global Land Cover Facility* (GLCF) é um serviço disponibilizado pela Universidade de Maryland (GLCF, 2010), onde são oferecidos diversos tipos de imagens e produtos gerados por sensores orbitais. A base de dados do GeoCover dispõe de imagens padronizadas e corrigidas geometricamente para toda a superfície do planeta, com exceção da Antártica.

Todas as imagens são ortorretificadas e corrigidas geometricamente com modelos digitais de terreno. De acordo com a NASA (*Stennis Space Center*), a acurácia é de aproximadamente 100 metros para as imagens do sensor Landsat/MSS, e de 50 metros para as cenas dos sensores Landsat/TM e Landsat/ETM+ (GLCF, 2010).

A projeção utilizada é a Universal Transversa de Mercator (UTM), e o Datum empregado é o *World Geodetic System 1984* (WGS84). Cada cena dispõe de todas as bandas separadamente, e suas características técnicas estão descritas em um arquivo digital de metadados que acompanham cada cena disponibilizada. A resolução espacial é de 30 metros.

TAVARES JUNIOR *et al.* (2009) avaliaram a precisão das imagens GeoCover e concluíram que elas possuem boa precisão e podem ser empregadas como referência no georreferenciamento de outras cenas com mesma resolução espacial, sendo que o erro máximo que pode ocorrer na identificação de um ponto é de 60 metros.

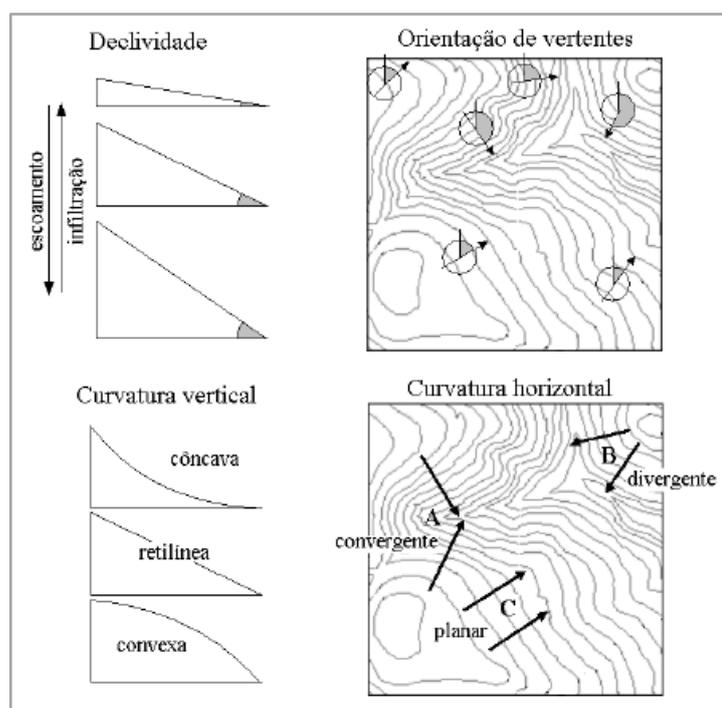
Para o registro das imagens ópticas das duas órbitas distintas que compõem a área de estudo, foram utilizadas de base imagens TM do catálogo GeoCover.

#### 4.1.2.3 Topodata

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), através da cooperação entre Estados Unidos, Alemanha e Itália, lançada em fevereiro de 2000, utilizou a interferometria com as bandas C e X para adquirir dados topográficos em mais de 80% da área emersa da Terra, entre 60° N e 56° S. O Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado do SRTM foi disponibilizado com uma resolução espacial de 3 arcossegundos (90 m) (JENSEN, 2009).

A partir dos dados SRTM disponibilizados, foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) um banco de dados geomorfométricos locais para o território nacional, denominado TOPODATA. Com um refinamento das informações originais do SRTM, foi gerado um MDE com melhor resolução espacial, convertendo de 3 arco-segundos (~ 90 m) para 1 arco-segundo (~ 30 m) por krigagem e, nesse sentido, preservando as características geométricas de detalhes do MDE originado (VALERIANO *et al.*, 2009; VALERIANO, 2008).

Com o MDE refinado, por meio de algoritmos foram geradas variáveis geomorfométricas locais: declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical (**Figura 11**). Além dessas, uma derivação de segundo grau foi aplicada para a evidenciação de talwegues e divisores de água, cujos resultados foram combinados à orientação de vertentes, para favorecer a interpretação das feições de drenagem e caracterização de sua estrutura. As variáveis geomorfométricas foram ainda classificadas para a geração de mapas não-numéricos, tais como as classes de declividade, as curvaturas em convexo/planar/côncavo, bem como possíveis formas de vertentes. Essas variáveis correspondem aos elementos básicos sobre os quais se fundamentam as técnicas de interpretação e análise do relevo (VALERIANO, 2008).



**Figura 11** - Variáveis geomorfométricas locais derivadas da altimetria

Fonte: VALERIANO (2008)

A declividade está relacionada com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), e a sua análise é um processo básico de gestão territorial, além da aplicação na interpretação geomorfológica. Ela é a primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal. No caso dos MDE, as distâncias de derivação correspondem a um pixel (ou dois, conforme o cálculo específico) em sua resolução espacial (VALERIANO, 2008).

A orientação de vertentes é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente. É expressa em graus, de 0° a 360°. Nos mapas topográficos, a orientação é dada pela direção transversal à isolinha local e no sentido descendente. A orientação de vertentes compõe a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob a perspectiva de relevo sombreado.

Em condições de terrenos planos, a determinação da orientação de vertentes é difícil e com pouco significado, considerando que, nesse caso, o módulo da declividade é nulo ou quase nulo. Assim, deve-se ponderar a orientação de vertentes pela declividade local em todo o mecanismo que se traduza em um vetor no plano horizontal.

A orientação de vertentes tem muitas utilidades em áreas inclinadas, porém, em áreas planas, sua leitura deve ser desconsiderada ou cuidadosamente analisada. Muitos SIG oferecem a opção de se estabelecer um limite mínimo de declividade para o cálculo da orientação de vertentes. No caso de pixels em áreas definidas como planas, o resultado seria um valor externo à sua faixa de variação, como “-1°”, por exemplo.

A principal utilização da orientação de vertentes em geoprocessamento consiste na descrição da estrutura hidrológica superficial. Nesse sentido, o delineamento de microbacias pode ser altamente favorecido quando realizado com o apoio de dados quanto à orientação de vertentes (VALERIANO, 2008).

A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil e refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno. Ela é expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, o que pode assumir diferentes unidades. Na forma explícita, pode ser expressa em graus por metro.

A medição da curvatura vertical em cartas topográficas é indicada pela progressiva aproximação (ou afastamento) das curvas de nível ao longo das vertentes. Em ambiente SIG, seu cálculo é baseado na comparação entre diferenciais altimétricos recíprocos ao ponto (pixel) sob análise, feito através de janelas móveis.

Curvaturas nulas correspondem a retas. Nesse sentido, as curvaturas se caracterizam por apresentar valores positivos e negativos, dependendo da condição local do terreno, se côncava ou convexa. A distribuição da curvatura vertical apresenta forte relação com mapas pedológicos e geológicos (VALERIANO, 2008).

A curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. Em analogia à relação entre curvatura vertical e declividade, a curvatura horizontal pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância. A curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo, e é expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, normalmente graus por metro ou em  $m^{-1}$ .

Esta variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo sobre da superfície, promovidos pela gravidade (VALERIANO, 2008).

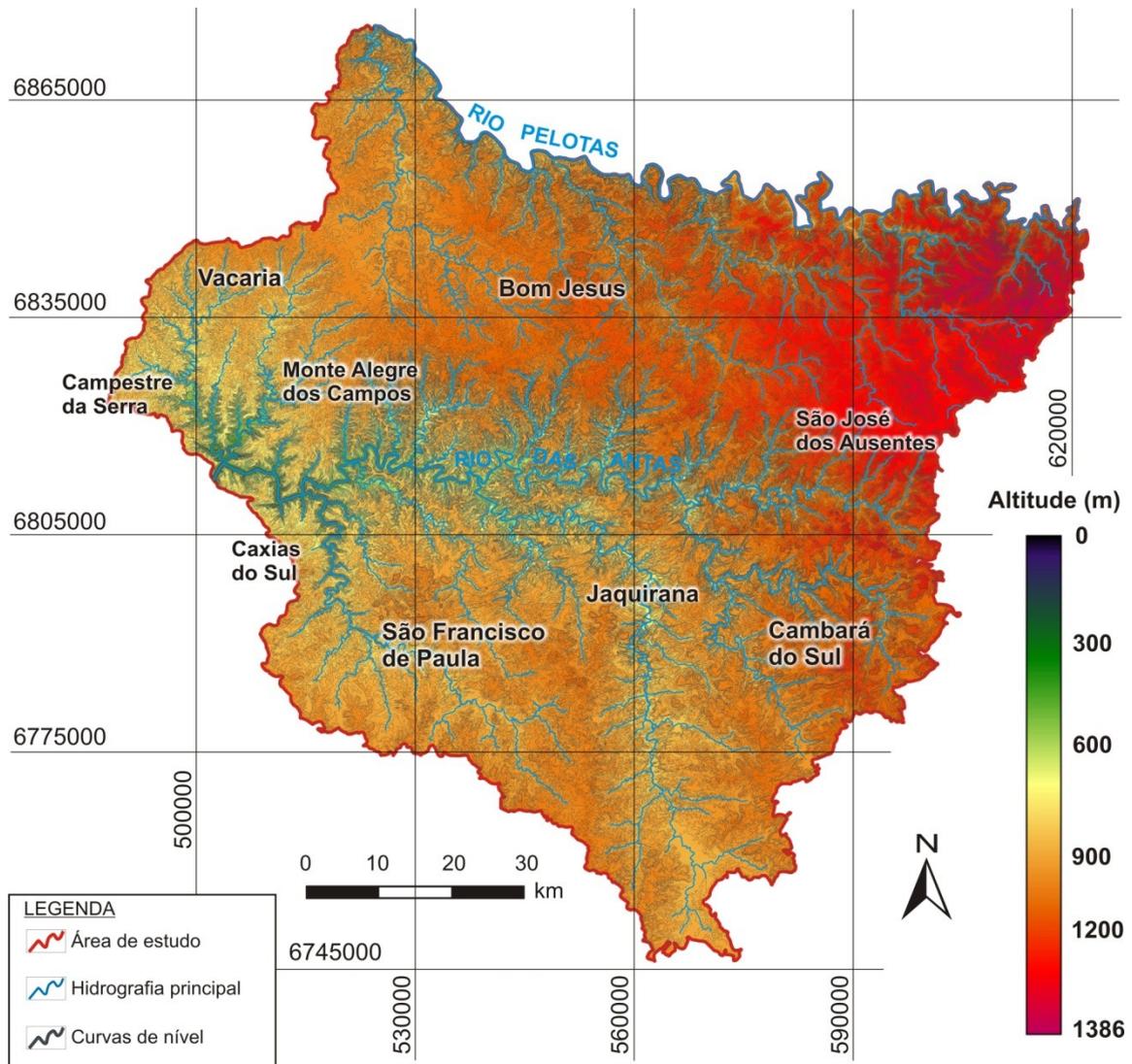
As classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) podem ser combinadas para fornecer indicação da forma do terreno (**Figura 12**).

		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

**Figura 12** - Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno.

Fonte: Adaptada de DIKAU (1990) apud VALERIANO (2008).

O modelo digital de elevação (**Figura 13**), refinado para a resolução de 1" (~30 m), e suas variáveis geomorfológicas derivadas de 1ª ordem (declividade e orientação de vertentes) e de 2ª ordem (curvaturas horizontal e vertical) foram selecionados dentre os dados disponíveis pelo TOPODATA (VALERIANO, 2008).



**Figura 13** - Área de estudo (Região Nordeste do RS) e a sua relação com o modelo digital de elevação (resolução ~ 30 m), curvas de nível e hidrografia principal (base 1:50.000).

#### 4.1.3 Softwares e Equipamentos

Para a edição dos arquivos vetoriais, foram utilizados os programas Global Mapper (versão 11.0) e Autocad Map 2005.

O registro das imagens de satélite e a seleção das áreas de treinamento (verdade terrestre) foram realizados através do programa Envi (versão 4.5).

O trabalho de campo foi viabilizado com o auxílio de um veículo automotor, um *notebook*, uma máquina fotográfica digital, imagens de satélite e um receptor GPS de navegação (Marca Garmin, modelo eTrex Summit).

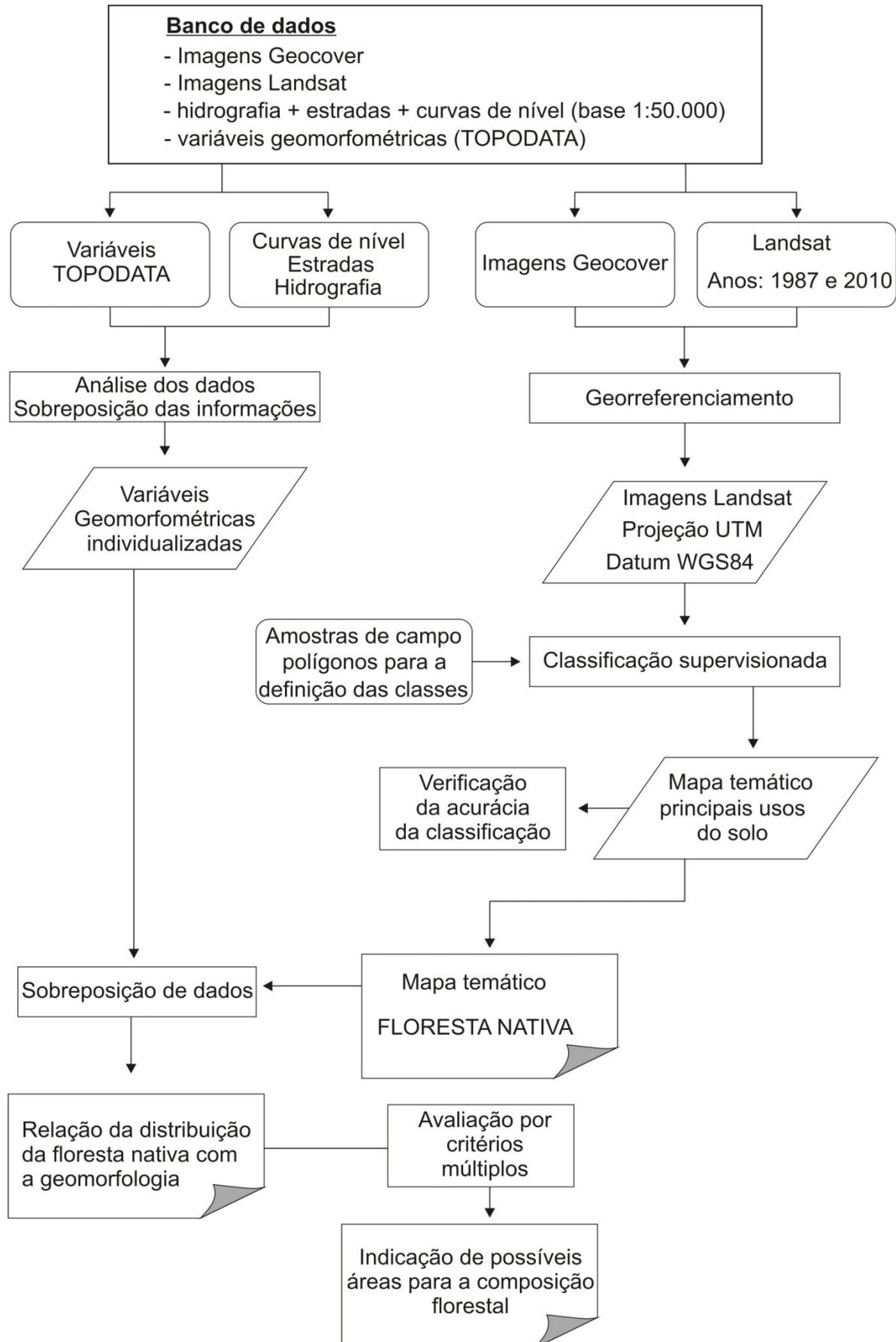
Através do *software* Idrisi Andes (versão 15.0), foram realizadas: a classificação supervisionada das imagens; o pré-processamento (conversão) dos arquivos disponíveis no banco de dados TOPODATA; e a análise dos resultados com a extração de parâmetros estatísticos. No *software* MultiSpec, foram gerados os histogramas da resposta espectral das amostras de treinamento utilizadas na classificação das imagens, para fins de verificação da separabilidade entre as classes.

Para a elaboração final dos resultados, a edição dos mapas e figuras foi realizada através do programa CorelDRAW (versão 13.0), que permite a manipulação de imagens mantendo a referência métrica (ajuste de escala), e também possibilita a sobreposição de informações adicionais (textos, linhas e polígonos).

## 4.2 Métodos

A metodologia do trabalho foi dividida em quatro etapas principais ao longo do seu desenvolvimento. Inicialmente, foi realizado o levantamento de dados para a análise prévia das condições favoráveis ao desenvolvimento do projeto. Na segunda etapa, foi realizado o trabalho de campo, proporcionando o reconhecimento da área de estudo. Posteriormente, em laboratório, realizou-se o pré-processamento das informações espaciais disponíveis. Na quarta etapa, com as imagens de satélite processadas e os dados estruturados, os resultados foram gerados e analisados.

O fluxograma representado pela **Figura 14** resume os dados e os procedimentos metodológicos adotados ao longo do presente trabalho.



**Figura 14** - Fluxograma com as principais etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho.

#### **4.2.1 Levantamento de Dados**

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, foi realizada uma busca de informações e de dados disponíveis para a Região Nordeste do estado:

- imagens do satélite Landsat-5, para o registro e o processamento dos resultados;
- variáveis geomorfométricas locais;
- base de dados vetoriais - hidrografia, estradas e curvas de nível - com a maior escala de detalhamento disponível.

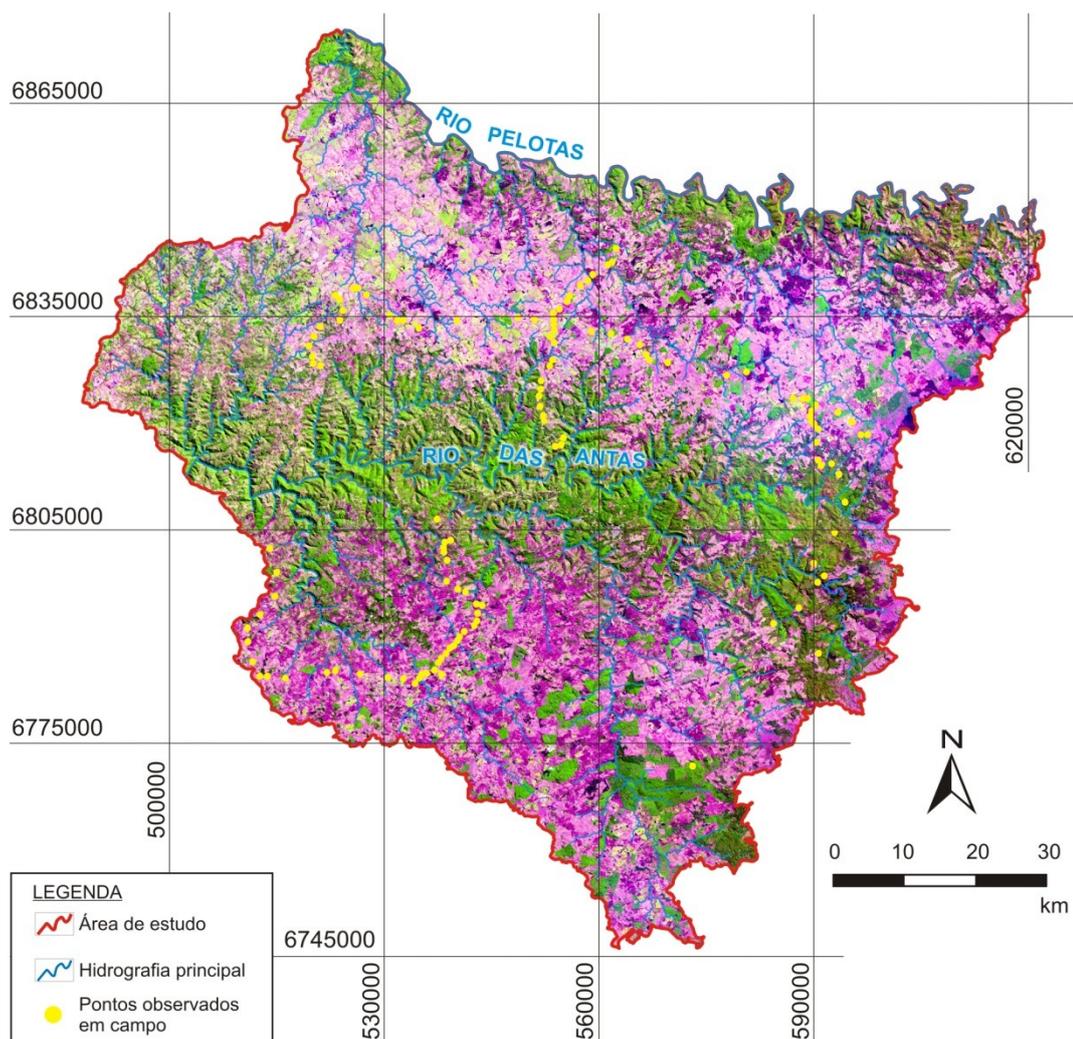
A hidrografia foi utilizada como referencial para a delimitação da área de estudo envolvendo as duas grandes bacias hidrográficas, cujos rios principais são: Pelotas e Antas. A rede viária (base vetorial) serviu de suporte ao trabalho de campo e, considerando o recorte da área de estudo, as curvas de nível foram utilizadas para a verificação de possíveis inconsistências nas informações de altimetria disponíveis pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008).

Para qualificar o processo de classificação supervisionada, as imagens de satélite a serem utilizadas no processamento digital devem ser obtidas em uma data próxima ao reconhecimento de campo da área de estudo, visando a validação dos resultados com uma maior precisão. No entanto, as imagens utilizadas no presente estudo foram adquiridas pelo catálogo do INPE, não sendo possível a programação de datas das duas cenas que envolvem a área de estudo. Mesmo assim, a diferença entre o trabalho de campo e a tomada das imagens é de três meses, o que não interferiu na certeza quanto ao reconhecimento dos alvos relacionados à floresta nativa.

#### **4.2.2 Trabalho de Campo**

O levantamento das informações em campo ocorreu entre os dias 3 e 5 de junho de 2010, final da estação outono, quando as condições climáticas apresentavam características do inverno: chuvisqueiros com uma intensa nebulosidade ao longo do dia; e temperaturas médias inferiores a 15°C (graus Celsius).

A coleta de informações foi obtida em um percurso de 380 quilômetros (km), inseridos nos limites da área de estudo. Neste deslocamento, foi utilizado um computador com acesso ao *software* Google Earth, otimizando a localização dos pontos amostrados. Por meio de um receptor GPS de navegação e das imagens de satélite em alta resolução espacial, as coordenadas em tempo real foram indicadas nas imagens, facilitando a identificação dos alvos previamente selecionados no planejamento do campo. Além disso, com o GPS realizou-se a marcação dos pontos ao longo do trajeto percorrido que, posteriormente, foram analisados sobre as imagens de satélite Landsat TM. Este procedimento objetivou a definição dos polígonos de controle dos diferentes alvos para a classificação (mapeamento temático), com ênfase nas áreas de floresta nativa (**Figura 15**). Complementar aos pontos de controle, ao longo do trabalho de campo, cenas da paisagem local foram registradas com o auxílio de uma máquina fotográfica digital.



**Figura 15** - Pontos identificados no trabalho de campo com o auxílio de um receptor GPS de navegação, na Região Nordeste do RS.

### 4.2.3 Pré-Processamento dos Dados

As informações espaciais foram estruturadas em um banco de dados, utilizando a projeção cartográfica UTM e o elipsoide de referência WGS84 (*World Geodetic System* de 1984). Baseado no refinamento dos dados SRTM e na resolução espacial das imagens (30 m), o mapeamento é compatível com a escala 1:100.000.

A integração de imagens com mapas e outras informações requer o uso da correção geométrica (D'ALGE, 2001). Imagens obtidas por sensoriamento remoto podem conter uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, uma precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados (CRÓSTA, 1992).

Para que a precisão cartográfica seja introduzida nessas imagens digitais, faz-se necessário uma correção, segundo algum sistema de coordenadas. A transformação de uma imagem, para que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa, é chamada de correção geométrica (CRÓSTA, 1992).

Em geral, a grande maioria das imagens de satélite é fornecida com uma pré-correção geométrica e um georreferenciamento inicial. Mesmo assim, essa condição não é suficiente para aplicações que exijam uma boa qualidade posicional.

Para estudos multitemporais com imagens de satélite, onde se deseja a comparação de mudanças ocorridas em uma determinada área, faz-se necessário uma transformação adicional, conhecido por registro. Considerando os erros de posicionamento inerentes aos satélites (plataforma), representados por movimentos aleatórios, efetua-se o registro para o ajuste do sistema de coordenadas de uma imagem ao sistema equivalente de outra imagem, que cobre a mesma área. Posterior ao registro, diferentes imagens de uma mesma cena, de sensores e datas distintas, podem ser sobrepostas com a segurança de que os pixels de cada uma das imagens a ser trabalhada são referentes à mesma área no terreno (CRÓSTA, 1992; D'ALGE, 2001).

O processo que envolve a correção geométrica de imagens compreende três etapas principais. A primeira etapa requer uma transformação geométrica (mapeamento direto), que estabelece uma relação entre as coordenadas originais de imagem (linha e coluna) e as coordenadas geográficas de referência. Nessa etapa,

são eliminadas as distorções existentes, e define-se o espaço geográfico a ser ocupado pela imagem corrigida. A segunda etapa consiste no mapeamento inverso, que inverte a transformação geométrica usada no mapeamento direto, para que se definam os níveis de cinza que comporão a imagem corrigida. Por fim, é feita a reamostragem, que utiliza a informação sobre níveis de cinza adquirida pelo mapeamento inverso, e realiza uma interpolação para definir os valores de nível de cinza que irão compor a imagem corrigida (D'ALGE, 2001).

A transformação geométrica de uma imagem pode ser executada através de diferentes modelos matemáticos, seja ele através de correções independentes, ou por fotogrametria, ou ainda por um modelo polinomial.

O modelo polinomial, amplamente disponível nos sistemas de registro de imagens, consiste de uma função cujos parâmetros são determinados a partir das coordenadas de pontos de controle, identificados tanto no sistema de referência da imagem, como no sistema de referência da base de dados. Esse modelo não considera informações inerentes à aquisição da imagem, e nem faz distinção sobre o status ou nível de correção geométrica da mesma (D'ALGE, 2001).

Em geral, os polinômios utilizados na modelagem são os simples de primeira, segunda ou terceira ordem (ou grau). Polinômios com ordem superior à terceira ordem são usados, porém eles podem introduzir erros piores àqueles a serem corrigidos (RICHARDS, 1993).

Para a modelagem polinomial, é aconselhável o uso mínimo de 6 pontos de controle para o polinômio de 1º grau, e 10 pontos de controle para o polinômio de 2º grau. É importante observar a distribuição dos pontos de controle na área a ser registrada, em função da regionalização das transformações polinomiais, mais adequadas nas áreas dos pontos de controle selecionados (D'ALGE, 2001).

O registro de uma imagem pode ser avaliado através do erro RMS (*Root Mean Square*). Esse RMS é uma inferência estatística que representa a diferença entre os pontos medidos e os preditos; sendo utilizado para a avaliação de pontos de controle em uma imagem em relação a uma projeção cartográfica e um sistema de referência (RSI, 2005). O erro é dado por:

$$RMS_{error} = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (5)$$

Onde: x e y são as coordenadas de linhas e colunas originais, e x' e y' são as coordenadas estimadas. Quanto menor o RMS, melhor o registro.

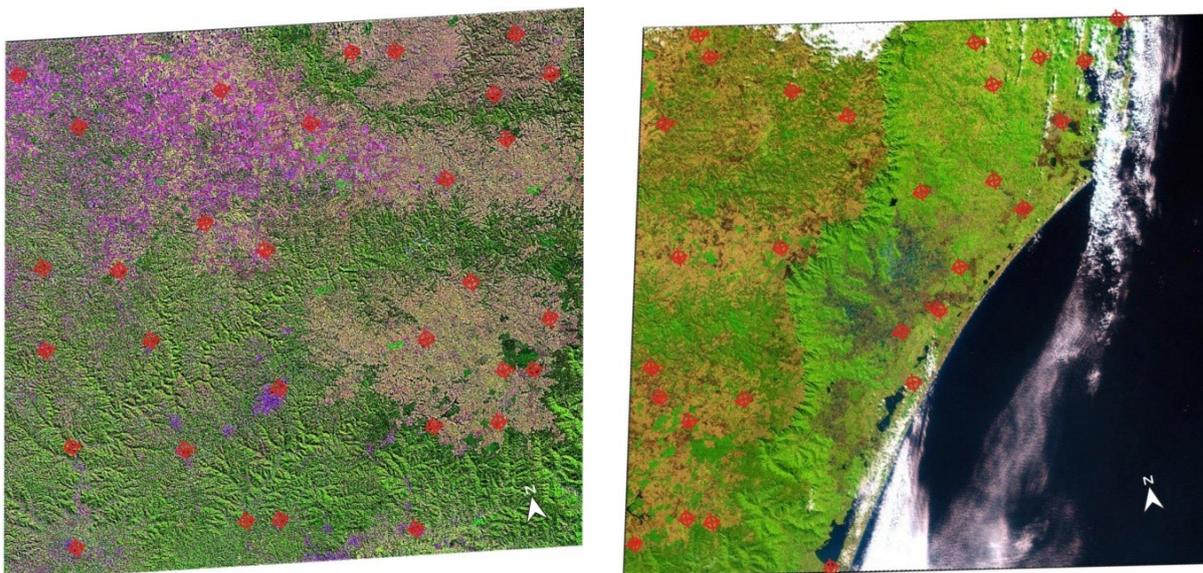
O registro das quatro imagens de satélite, de duas órbitas distintas que compõem o mosaico da área de estudo, foi feito através do *software* Envi. Em uma composição colorida com as bandas 5, 4 e 3 nas cores vermelho, verde e azul, respectivamente, foram utilizadas como base (*Base Image*) para o georreferenciamento as imagens GeoCover (GLCF, 2010), órbitas 220 e 221, datadas de 4 e 29 de maio de 2005. A partir dessas imagens, foram definidos os pontos de controle para o registro das cenas Landsat (*Warp Image*) de 1987 e 2010 (**Figura 16**). A reamostragem das imagens para o registro foi feita pelo método do “Vizinho Mais Próximo”, com equação de segundo grau. Os resultados dos registros das imagens foram satisfatórios, considerando a resolução espacial das imagens (30 m), onde a média de erro ficou abaixo de 1 pixel (**Tabela 2**).

**Tabela 2** - Relação dos erros observados no registro das imagens Landsat a partir da base de imagens GeoCover.

Órbita	Data da imagem	Pontos de Controle	Erro RMS
220	29 de junho de 1987	20	0,29 pixel (8,7 m)
221	20 de junho de 1987	31	0,30 pixel (9 m)
220	31 de agosto de 2010	26	0,35 pixel (10,5 m)
221	07 de setembro de 2010	29	0,35 pixel (10,5 m)

Considerando a análise individual dos pontos de controle utilizados no registro das imagens, o erro RMS foi inferior a 1 pixel. O maior erro (RMS) de registro ocorreu na imagem de 1987, órbita 220, e foi de 0,94 pixel (28,2 metros). Na imagem de 2010, órbita 220, o maior erro foi de 0,73 pixel. Na imagem de 1987, órbita 221, o maior erro pontual foi de 0,52 pixel. Na imagem 2010, órbita 221, o maior erro pontual foi de 0,68 pixel.

O georreferenciamento foi necessário para que todos os dados estivessem estruturados em um mesmo sistema de referência, permitindo a justaposição e o cruzamento entre as informações temáticas.



**Figura 16** - Pontos de controle utilizados no registro das imagens Landsat: na esquerda, órbita-ponto 221-80, composição colorida R5G4B3; e, na direita, órbita-ponto 220-80, composição colorida R5G4B3.

Além dos dados de campo e das imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, também foram utilizados os dados disponíveis no banco de dados TOPODATA. Neste banco de dados, foram obtidos os arquivos em formato numérico e seus respectivos valores ordenados em classes, conforme a **Tabela 3**.

**Tabela 3** - Arquivos e Planos de informação disponíveis no banco de dados TOPODATA.

Conjunto	Descrição	Unid.
la_lon <b>ZN</b> .img	Altimetria. Dados interpolados, 1" (~30 m), formato Idrisi 2.0	m
la_lon <b>SN</b> .img	Declividade na forma numérica.	%
la_lon <b>ON</b> .img	Orientação de vertentes na forma numérica.	°
la_lon <b>VN</b> .img	Curvatura vertical na forma numérica.	°/m
la_lon <b>HN</b> .img	Curvatura horizontal na forma numérica.	°/m
la_lon <b>OC</b> .img	Orientação de vertentes em octantes (N, NE, E, SE, S, SW, W e NW).	-
la_lon <b>V5</b> .img	Curvatura vertical em 5 classes.	-
La_lon <b>H5</b> .img	Curvatura horizontal em 5 classes.	-
La_lon <b>FT</b> .img	Forma do terreno.	-

Fonte: VALERIANO (2008).

A abrangência de toda área de estudo foi realizada com 4 folhas distintas. O arquivo que corresponde à forma do terreno (FT) foi utilizado na análise complementar aos dados de curvatura vertical e horizontal. Da altimetria, bem como

das variáveis geomorfométricas associadas, foram utilizados os arquivos de imagem (extensão “.img”), compatível com o *software* Idrisi, convertidos de 16 para 32 bits. Para a estruturação das referidas variáveis como planos de informação do banco de dados espaciais foi necessário a correção geométrica, utilizando as coordenadas conhecidas (graus decimais) dos cantos das imagens. As imagens dessas variáveis foram convertidas para a projeção UTM e o pixel assumiu a resolução de 30 m, compatível com a resolução das imagens ópticas (Landsat). Por fim, as imagens foram mosaicadas para cada plano de informação, contemplando toda a área de estudo.

O TOPODATA disponibiliza planos de informação da declividade em diferentes faixas, de acordo com o Manual Brasileiro para Levantamento da Capacidade de Uso (MARQUES, 1971 apud VALERIANO, 2008), atualizado em LEPSCH *et al.* (1991), bem como a classificação atual da EMBRAPA (1999). Considerando a classificação da EMBRAPA, o arquivo numérico da declividade foi reclassificado (comando RECLASS - Idrisi), de acordo com os limites de aceitação apresentados na **Tabela 4**. Os limites entre os valores para a definição das classes de Curvatura Vertical e Horizontal, bem como a separação da Orientação de Vertentes em octantes são descritos nas **Tabelas 5 e 6**, respectivamente.

**Tabela 4** - Limites rígidos de classes de Declividade definidos pela EMBRAPA (1999).

Relevo	Faixa (%)
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	> 75

**Tabela 5** - Classes de Curvatura Vertical e Horizontal.

Curvatura Horizontal (°/m)		Curvatura Vertical (°/m)	
Muito Convergente	$x \leq -0,18$	Muito Côncava	$x < -0,005$
Convergente	$-0,18 < x \leq -0,054$	Côncava	$-0,005 < x \leq -0,00125$
Planar	$-0,054 < x \leq 0,054$	Plana	$-0,00125 < x \leq 0,00125$

Curvatura Horizontal (°/m)		Curvatura Vertical (°/m)	
Divergente	$0,054 < x \leq 0,18$	Convexa	$0,00125 < x \leq 0,005$
Muito Divergente	$x > 0,18$	Muito Convexa	$X > 0,005$

Fonte: VALERIANO (2008).

**Tabela 6** - Limites dos valores de Orientação de Vertentes para a definição das octantes.

Intervalo de valores (°)	Orientação
337,5 – 22,5	N
22,5 – 67,5	NE
67,5 – 112,5	E
112,5 – 157,5	SE
157,5 – 202,5	S
202,5 – 247,5	SO
247,5 – 292,5	O
292,5 – 337,5	NO

Fonte: VALERIANO (2008).

Os arquivos digitais, previamente georreferenciados, que representam as curvas de nível e a rede hidrográfica da base cartográfica (escala 1:50.000) foram importados para o Idrisi, na projeção UTM, e convertidos do elipsoide SIRGAS2000 para o WGS84. As informações cartográficas foram sobrepostas nas imagens de satélite registradas e nas variáveis geomorfométricas, para a verificação de deslocamentos e de inconsistências nas informações.

#### 4.2.4 Mapeamento temático

O processamento digital, que compreende a classificação das imagens do sensor Landsat-TM, foi realizado utilizando as 6 bandas de mesma resolução espacial. A banda 5, da imagem de 29 de junho de 1987 (órbita-ponto 220-80), por apresentar algumas faixas contínuas de ruídos, provocando distorção dos dados reais, não foi utilizada no processamento das informações. A omissão da banda 5 não gerou uma perda que pudesse degradar o resultado do mapeamento temático, visto que a diferença na reflectância da vegetação ocorre especialmente na faixa

espectral que corresponde à região do visível (banda 1 a 3) e infravermelho próximo (banda 4).

Com exceção da imagem de 29 de junho de 1987, a composição colorida utilizada foi composta pela banda 5 na cor vermelha; a banda 4 na cor verde; e a banda 3 na cor azul - R5G4B3. Essa composição colorida ressalta a vegetação em tons de verde, especialmente a arbórea, pois a região do espectro que compreende o infravermelho próximo é sua característica predominante. De forma complementar, para a melhor identificação dos alvos de vegetação arbórea selecionados nas imagens, favorecendo a distinção entre floresta nativa e exótica, optou-se pela utilização da composição falsa-cor: R4G5B7. Nessa composição, a vegetação arbórea aparece em tons de vermelho vibrante e visualmente destaca-se melhor na imagem.

Para a avaliação temporal da vegetação, a metodologia de identificação das verdades terrestres para a validação dos mapas temáticos, obtidos a partir da imagem Landsat de 1987, foi adaptada a uma condição específica envolvida no presente trabalho. Partindo do pressuposto de que a vegetação arbórea atual possui uma estrutura que representa um longo período de tempo para estar na forma em que se encontra; esta deve apresentar, essencialmente no seu núcleo, as condições de forma e ocupação semelhantes ao período passado analisado. Este período corresponde a uma diferença temporal de 23 anos. Considerando que o foco da pesquisa envolveu a ocupação da floresta nativa e que a verdade terrestre foi validada para as imagens de 2010, os polígonos foram selecionados em áreas com um padrão de resposta espectral uniforme para a classe, evitando o efeito de borda das matas. As mesmas amostras (polígonos) utilizadas na classificação atual foram empregadas de forma idêntica no mapeamento das imagens de 1987, em ambas as órbitas.

Além da definição das amostras que representaram a Floresta Ombrófila Mista, com base nas observações de campo, foram definidas outras classes de ocupação do solo, que auxiliaram na classificação temática das imagens: corpos d'água (hidrografia); campo nativo; lavoura; banhado; floresta exótica; solo exposto, nuvem; e sombra. Para a classe definida como floresta exótica, foi considerada a silvicultura, seja ela composta por monocultivo de espécies nativas ou exóticas.

Cabe ressaltar que, na área de estudo, a araucária (*Araucaria angustifolia*) também é cultivada para fins industriais, mas em menor escala. Nas imagens Landsat da órbita 220, foi necessária a inclusão de uma classe extra (Floresta Extra-Iluminada) condicionada pelo maior brilho da imagem nas porções de encosta da Serra Geral, fora dos limites da área de estudo. Foi realizada a análise dos histogramas da resposta espectral das amostras de campo, através do *software* MultiSpec, para verificar o grau de separabilidade entre as classes.

O processamento digital para o reconhecimento das áreas ocupadas por Floresta Ombrófila Mista e suas formações específicas foi feito através do método supervisionado, utilizando o algoritmo de classificação Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), já consagrado na literatura e amplamente divulgado no meio técnico-científico. Esse algoritmo baseia-se na teoria Bayesiana e parte do pressuposto inicial de que o operador da classificação conhece a área de estudo, pois a sua lógica matemática está condicionada às probabilidades *a priori* em cada grupo de amostras (classes), previamente selecionadas pelo analista. As imagens foram classificadas individualmente, sem a necessidade de correção radiométrica.

#### 4.2.4.1 Acurácia da classificação

Devido à automatização dos processos de classificação digital, a avaliação da qualidade dos resultados é fundamental. Nesse sentido, para que os dados identificados e classificados possam ser confiáveis e terem a qualidade desejada, é necessário a avaliação da precisão dos métodos utilizados (CONGALTON & GREEN, 1999).

A forma mais usual para testar a precisão dos métodos de classificação de dados em imagens de sensoriamento remoto é a matriz de erro (confusão). Esta matriz relaciona valores de uma categoria particular com outros valores de uma categoria relativa, sendo um destes considerado correto. A partir da matriz de confusão, é possível calcular algumas medidas descritivas como a *acurácia global*, a *acurácia do usuário* e *do produtor*, bem como o coeficiente de concordância *Kappa* geral e por classe (CONGALTON & GREEN, 1999). A *acurácia global* (exatidão global) é uma das medidas mais simples, sendo calculada pela soma do total dos pixels corretamente classificados dividida pelo número total de pixels da matriz de

confusão. O resultado das categorias individuais é calculado através da *acurácia do produtor* (erros de omissão), que indica a probabilidade de um pixel de referência ter sido corretamente classificado; e da *acurácia do usuário* (erros de comissão), que calcula a probabilidade de um pixel classificado no mapa representar a categoria na verdade terrestre (CONGALTON, 1991).

A estatística Kappa, inicialmente proposta por COHEN (1960), possui a vantagem de incluir no cálculo do seu coeficiente todos os elementos da matriz de erros e não apenas os elementos da diagonal principal, como no caso da *acurácia global*. Considerando os intervalos de 0 a 1, foi proposta uma escala de avaliação, na qual os intervalos de valores são atribuídos à qualidade da classificação (LANDIS & KOCH, 1977), conforme a **Tabela 7**.

**Tabela 7** - Relação entre a estatística Kappa e o resultado da classificação por atribuições de qualidade.

Valor do Kappa	Qualidade da Classificação
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS & KOCH (1977).

Na avaliação da acurácia da classificação temática, a partir das amostras de treinamento foram analisados: a matriz de confusão e seus erros de inclusão e omissão; o índice geral Kappa; e a exatidão global.

#### 4.2.4.2 Produto do mapeamento temático

Após a classificação, os resultados (formato *raster*) foram mosaicados, conforme o ano de análise, e feito o recorte para a área de estudo (comando *Overlay* do Idrisi). Para a seleção da classe composta por áreas de Floresta Ombrófila Mista, foi criada uma imagem *Booleana*, onde apenas a classe de interesse foi definida com o valor 1, enquanto que as demais receberam o atributo 0 (zero).

Em uma análise complementar, a hidrografia extraída da base 1:50.000 foi importada do formato DXF para o Idrisi e rasterizada (comando *Reformat > RasterVector*). Utilizando o arquivo *raster*, foram efetuados *buffers* (perímetros) de 100, 200, 300 e 400 metros a partir da rede hidrográfica. Sobre estas áreas foram quantificadas as ocorrências de Floresta Ombrófila Mista mapeadas a partir das imagens de satélite de 2010.

Através do comando “AREA”, ainda em ambiente Idrisi, os resultados da classificação temática foram quantificados por área e valor percentual.

#### **4.2.5 Relações: Floresta e Variáveis Geomorfométricas**

A investigação inicial dos dados envolveu a comparação visual entre as informações que representam as variáveis geomorfométricas (TOPODATA) e as áreas mapeadas como Floresta Ombrófila Mista. Para facilitar a sobreposição dos planos de informação, os polígonos de floresta nativa em formato *raster* foram convertidos para arquivos no formato *vector*.

Na avaliação dos resultados, foram analisados de forma distinta os mapas de ocupação da floresta nativa de 1987 e 2010.

Para a análise de frequência dos dados, os arquivos *raster* com as áreas de floresta nativa foram sobrepostos aos mapas das variáveis geomorfométricas, através do comando *Overlay* do Idrisi. Nesta função, foram gerados novos arquivos, com atributos numéricos associados às variáveis, mas apenas nos polígonos identificados como floresta nativa.

A partir da sobreposição das variáveis geomorfométricas (TOPODATA) sobre as áreas de floresta nativa, foram gerados histogramas com as frequências de ocorrência de valores numéricos e de classes. Adicionalmente, foi utilizada uma máscara que representa a classe florestal. Isso foi importante para que os valores nulos, fora da área avaliada, não fossem considerados, no caso das variáveis (curvatura vertical e horizontal) com números negativos e positivos.

Os mapas com as variáveis geomorfométricas foram sobrepostos e analisados junto aos mapas de cobertura da Floresta Ombrófila Mista nos anos de 1987 e 2010. Como análise adicional, na intenção de verificar possíveis diferenças

na forma de ocupação da floresta nativa, foi selecionada uma região que engloba a porção superior da área de estudo, considerando como linha de recorte, principalmente, as curva de nível da cota altimétrica de 900 metros, conforme a base cartográfica do RS (escala 1:50.000). Nesse recorte da parte superior da área de estudo, a elevação varia de 830 a 1386 metros em relação ao nível do mar.

Além dos histogramas, foram extraídas e analisadas as seguintes informações quanto à ocorrência das variáveis nas áreas de floresta nativa: amplitude; pico máximo; moda; e média. Não foi possível a análise de média quanto às frequências de ocorrência da orientação de vertentes, pois os valores em graus representam uma variável circular.

#### **4.2.6 Indicação de Áreas para a Composição Florestal**

Após a análise descritiva dos resultados, considerando a existência de um padrão de ocupação da Floresta Ombrófila Mista em relação às variáveis geomorfométricas, estas foram reclassificadas conforme as maiores evidências (valores de média, moda e pico), que indicassem o seu potencial de ocorrência.

A análise da vegetação potencial refere-se à máxima expressão que a vegetação atingiria se tivesse a liberdade de se desenvolver sem a interferência do ser humano, considerando-se os atuais limites dados pelo clima e pelas condições edáficas (FÁVERO *et al.*, 2004). Para a proposição de áreas potenciais à ocupação da floresta nativa no presente trabalho, não foram considerados aspectos relacionados à ação antrópica, como estradas, áreas urbanas e demais usos. O efeito provocado pelo homem pode ser modificado mais facilmente em relação às necessidades de preservação ambiental, no que diz respeito ao seu planejamento e estruturação.

##### *4.2.6.1 Avaliação por critérios múltiplos*

Para a análise dos dados, tanto da ponderação como da distribuição potencial dos fatores, foi utilizado o *software* Idrisi. Os dados foram padronizados em uma escala de 0 a 255, através da rotina *Fuzzy*. Posteriormente, os pesos foram calculados em uma matriz de comparação pareada, pelo comando *Weight*. Para

representar o mapa final com a distribuição dos fatores que condicionaram o indicativo potencial à ocupação da floresta nativa, pela análise multicritério, foi utilizado o comando MCE (*Multi-Criteria Evaluation*), através do método WLC.

Foi relacionada a similaridade entre a distribuição da floresta e as variáveis estruturadas como fatores da avaliação multicritério. A similaridade explica a comparabilidade entre as imagens, indicando o grau de associação entre os dados.

O desempenho final do resultado (mapa potencial) foi avaliado através de uma matriz de erro (comando *Crosstab* do Idrisi), com a análise da acurácia do produtor e do índice Kappa. A pretensão envolveu a seguinte lógica: o potencial de ocupação deve representar ao menos um percentual considerável da paisagem florestal constituída atualmente, para que as evidências apresentadas demonstrem o grau de confiança.

#### Detalhamento do método

A potencialidade à ocupação da Floresta Ombrófila Mista foi calculada pela combinação linear ponderada através de fatores múltiplos. As variáveis (fatores) que, inicialmente, condicionaram a elaboração do mapa potencial foram: declividade; altimetria; e hidrografia (base vetorial do RS).

A tendência da floresta em ocupar áreas com maior declividade é expressa pela diferença observada em relação ao comportamento médio do relevo na área de estudo. Baseado nesse aspecto, ao invés do valor modal, que é próximo ao perfil geral do relevo, foi utilizado valor da média como referência para o maior potencial de ocupação da floresta nativa. Para confirmar a referida análise, foram gerados cinco fatores distintos quanto à aptidão em função das faixas de declividade:

- (a) utilizando os valores entre menor pico e maior média de declividade, observados nos resultados de ocupação da floresta em 1987 e 2010, além da parte dos campos, foi definida uma faixa de aptidão entre 12 e 29%. A padronização para a escala de aptidão (0 a 255) foi realizada pela função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 12, 29 e 90%. Dessa forma, os valores compreendidos entre 12 e 29% de declividade são considerados os valores de maior potencial (255), decrescendo para mais e para menos a partir dessa faixa, com tendência à

estabilização nos pontos extremos. Pela análise de frequência da floresta, justificam-se os valores de inflexão em baixa declividade, inferiores a 3%, assim como acima de 90%, pela ocorrência pouco representativa;

- (b) utilizando o valor modal (16% - maior frequência) da ocupação da floresta em 2010 como maior potencial, gerou-se uma função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 16 e 90%;

- (c) utilizando a amplitude entre a moda das três análises (16 a 19°) como maior aptidão, o mapa foi gerado através de função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 16, 19 e 90%.

- (d) utilizando como potencial a amplitude entre o pico (14 a 19°) observado em 1987 e 2010 (área dos campos), gerou-se um mapa pela função sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 14, 19 e 90%.

- (e) para finalizar os testes quanto ao melhor intervalo de distribuição da aptidão, utilizou-se como preferência o percentual de 29% de declividade (terrenos forte ondulados), baseado na média da ocupação da floresta em 2010. A função utilizada representa uma curva sigmoideal simétrica, com pontos de inflexão em 3, 29, e 90%.

A escolha do melhor fator de aptidão, baseado na declividade e altimetria, foi influenciada pelo teste de similaridade entre as imagens (comando *Crosstab>Image Similarity/Association Data Only*). O “V” de Cramer (Cramer’s V) é um coeficiente que indica a correlação entre duas imagens, resultado da afinidade entre duas categorias, que varia de 0,0 (nenhuma correlação), até 1,0 (perfeita correlação) (EASTMAN, 2006).

Para o fator hidrografia, a partir dos seus vetores rasterizados, foi gerado um mapa com as distâncias lineares (comando *Distance*, do Idrisi) que, posteriormente, foi transformado em um mapa de aptidão, por função de decréscimo linear simples, com o valor mínimo de 0 e a distância máxima de 2.560 metros. A proximidade com os recursos hídricos representa a maior aptidão (valor 255) à ocupação da floresta nativa.

Depois de estruturados os fatores de potencialidade à ocupação da floresta em uma mesma escala de aptidão (entre 0 e 255), foram definidos os pesos respectivos através do método de comparação pareada, implementado no Idrisi

(comando *Weight*). Esse método, conhecido também como Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process - AHP*), considera a ponderação de importância entre os fatores de decisão. Os pesos são gerados por atribuições quantitativas sobre a diferença para cada par de critérios. O método AHP tem uma escala de nove pontos para expressar as diferenças importantes entre os critérios assumidos (MIRANDA, 2005).

A metodologia desenvolvida de forma secundária nessa etapa do trabalho, após a análise estrutural da vegetação, baseia-se na intenção de melhorar o ajuste direcionado ao produto final (mapa de potencialidades da floresta nativa).

Em ambiente Idrisi, pela função MCE (*Multi-Criteria Evaluation*), foram gerados e testados 3 cenários distintos, totalizando 12 tentativas, que indicariam o potencial de ocupação da floresta com base em fatores ambientais relacionados ao relevo. Inicialmente, foram testados, com diferentes ponderações pelo método AHP, os fatores: distância da hidrografia; declividade, com distribuição de maior potencial centrada em 29%; e altimetria, com maior potencial centrado em 928 m. No segundo cenário, foi descartada a altimetria como fator potencial. No terceiro cenário, foram considerados apenas a declividade e a altimetria. Para não sobrecarregar os resultados, é apresentada a análise do mapa que obteve o melhor desempenho em relação aos demais testes.

O produto final inicialmente representava valores em uma escala de 0 a 255. O mapa com o potencial de ocupação foi dividido em 5 classes: muito baixo (0 a 51); baixo (51 a 102); médio (102 a 153); alto (153 a 204) e muito alto (204 a 255). Com as classes geradas, foram atribuídas cores específicas, para melhor representar o cenário com os dados especializados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Características Gerais da Paisagem

No levantamento de campo, de forma complementar à identificação das áreas com formação florestal nativa, foram identificadas as principais ocupações do solo que predominam na paisagem: áreas úmidas (banhado); campo nativo; florestas exóticas; solo exposto; e pastagens.

As áreas de Floresta Ombrófila Mista têm maior expressividade em regiões de encosta e próximas aos recursos hídricos, especialmente nos rios de maior porte. A grande parte da floresta ocorre em terrenos de maior ondulação, pelo potencial reduzido para a agricultura e pecuária, e nas partes mais baixas do terreno, pela maior disponibilidade de água e nutrientes. Junto aos campos, em regiões de maior altitude, a floresta se apresenta na forma de manchas, com formações descontínuas no espaço (**Figura 17**). As araucárias (*Araucaria angustifolia*), presentes nas formações florestais nativas ocupam o extrato mais alto do dossel (**Figuras 18 a 21**).



**Figura 17** - Fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, formação Montana, localizados em área destinada à pecuária extensiva, na porção sudoeste da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 18** - Floresta Ombrófila Mista, formação Montana, inserida na matriz campestre, localizada na parte sul da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 19** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, inserida na matriz campestre utilizada para a pecuária, localizada na parte norte da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 20** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, sobre as áreas de encosta que se aprofundam num vale, onde se encontra um afluente do Arroio Passo Fundo, localizado na parte leste da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 21** - Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana, sobre a matriz campestre utilizada para a pecuária extensiva. Localização: região leste da área de estudo, Região Nordeste do RS.

As áreas úmidas ocorrem com maior frequência em locais de convergência da drenagem superficial ou próximas aos recursos hídricos. Abrigam uma formação vegetal herbáceo-arbustivas, inclusive com espécies de ocorrência exclusiva nesses ambientes (BOND-BUCKUP *et al.*, 2010). Pela sua maior disponibilidade hídrica, favorecem a formação de florestas em áreas adjacentes (**Figura 22**).



**Figura 22** - Banhado (campo úmido) localizado na parte baixa do terreno. Ao fundo, áreas de florestal nativa, formação Montana. Localização: limite oeste da área de estudo, Região Nordeste do RS.

O campo nativo (**Figura 23**) predomina nas áreas de maior altitude, em solos com baixa profundidade e em meio a afloramentos rochosos, distantes do leito dos grandes rios (Antas e Pelotas), onde ocorrem terrenos com acentuada declividade e a presença da vegetação arbórea nesses locais é maior.



**Figura 23** - Campo limpo destinado à pecuária extensiva, localizado na região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS. Ao fundo, uma área com Floresta Ombrófila Mista, formação Altomontana.

A floresta exótica é composta essencialmente por espécies do gênero *Pinus* (**Figura 24**). Esse tipo de monocultura ocorre, geralmente, próximo às áreas de floresta nativa, formando prolongamentos sobre os seus limites (borda) (**Figuras 25 e 26**). Na área de estudo, esse cultivo ocorre de forma mais expressiva na metade-leste e ocupa toda a sua extensão de norte a sul, inclusive na matriz campestre. As características que melhor diferenciam a floresta exótica da floresta nativa são: a organização espacial (plantio em fileiras); e o padrão de resposta (radiância) espectral mais uniforme, condicionado pelo extrato arbóreo dominante específico da cultura.



**Figura 24** - Floresta exótica, caracterizada pela monocultura de *Pinus* sp., localizada na região sul da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 25** - Pressão antrópica sobre a paisagem: fragmentação da Floresta Ombrófila Mista e o avanço da floresta exótica (silvicultura), em estágio inicial de desenvolvimento. Localização: região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS.



**Figura 26** - Extensas áreas com o plantio de *Pinus* sp. (silvicultura) restringindo as bordas dos fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. Localização: região central da área de estudo, Região Nordeste do RS.

O solo exposto está relacionado ao cultivo agrícola e às práticas de queimada nas áreas de campo (vegetação herbácea) para a renovação da pastagem utilizada na pecuária (**Figura 27**). Adicionalmente, para o processamento digital das imagens, foram consideradas igualmente nessa classe as manchas urbanas e estradas.



**Figura 27** - Exemplo de solo exposto no canto superior esquerdo da imagem. Seus limites envolvem áreas de floresta nativa e exótica. Localização: região central da área de estudo, Região Nordeste do RS.

As pastagens artificiais (**Figura 28**) ocupam áreas onde, outrora, existiam espécies da flora que constituíam o campo nativo (pastagem natural). Nesse sistema de cultivo, são introduzidas espécies específicas (monocultura).



**Figura 28** - Exemplo de ocupação de pastagens artificiais sobre as áreas de campo nativo. Localização: região norte da área de estudo, Região Nordeste do RS.

## 5.2 Análise da Paisagem

O mapeamento temático da Floresta Ombrófila Mista (floresta nativa), nos dois períodos analisados, envolveu a seleção de 81 áreas de treinamento para as

imagens Landsat da órbita 220, que totalizam uma área de 9,78 km<sup>2</sup> (0,10% da área de estudo). Na classificação das imagens da órbita 221, tanto no ano de 1987 como em 2010, foram utilizadas 193 amostras de treinamento, que totalizam uma área de 20,77 km<sup>2</sup> (0,23% da área de estudo) para cada cena. As classes temáticas previamente selecionadas para a classificação das imagens são listadas na **Tabela 8**.

**Tabela 8** - Áreas de treinamento utilizadas na classificação supervisionada das imagens de satélite.

Classe temática	Número de Áreas de Treinamento			
	Órbita 220		Órbita 221	
	Ano 1987	Ano 2010	Ano 1987	Ano 2010
1. Hidrografia	24	17	27	37
2. Campo Nativo	19	28	72	90
3. Banhado	24	21	20	13
4. Floresta Ombrófila Mista	81	81	193	193
5. Pastagem / Lavoura	19	28	36	106
6. Floresta Exótica	34	36	32	64
7. Solo Exposto	47	31	29	65
8. Floresta Extra-Iluminada	61	54	-	-
9. Nuvem	6	12	24	12
10. Sombra	31	19	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>346</b>	<b>327</b>	<b>433</b>	<b>580</b>

As curvas de densidade de probabilidade, baseadas na radiância espectral média das áreas de treinamento, apresentaram uma distribuição normal e indicaram uma boa distinção (separabilidade) entre as classes amostradas, especialmente a floresta nativa.

O resultado da classificação, através da técnica supervisionada pelo algoritmo MAXVER, obteve um bom desempenho final para as quatro imagens mapeadas (**Tabelas 9 a 12**).

**Tabela 9** - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER da imagem Landsat, órbita 220, de 29 de junho de 1987.

Classes temáticas	Amostras de campo										Total	Erro *C	Pixels **BC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Hidrografia-1	1215	0	0	0	0	1	4	0	0	33	1253	3.03%	96.97%
Campo nativo-2	0	5595	13	0	0	0	78	0	0	0	5686	1.60%	98.40%
Banhado-3	0	122	979	4	0	0	25	0	0	0	1130	13.36%	86.64%
Floresta ombrófila-4	128	0	1	7715	19	124	46	74	0	292	8399	8.14%	91.86%
Pastagem/lavoura-5	0	1	1	0	601	2	0	196	0	0	801	24.97%	75.03%
Floresta exótica-6	1	0	0	83	0	5494	1	0	0	0	5579	1.52%	98.48%
Solo exposto-7	51	87	0	2	0	0	1802	0	0	7	1949	7.54%	92.46%
Flor. extra-ilumin.-8	0	0	0	10	38	6	0	6444	0	0	6498	0.83%	99.17%
Nuvem-9	0	13	0	0	7	0	0	29	177	0	226	21.68%	78.32%
Sombra-10	105	0	0	4	0	0	0	0	0	8481	8590	1.27%	98.73%
Total	1500	5818	994	7818	665	5627	1956	6743	177	8813	40111		
Erro de omissão	19.00%	3.83%	1.51%	1.32%	9.62%	2.36%	7.87%	4.43%	0.00%	3.77%	4.00%		

\* Comissão  
\*\* Bem Classificados

Índice Kappa = 0.9523  
Exatidão global = 0.96 (96%)

**Tabela 10** - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 221, de 20 de junho de 1987.

Classes temáticas	Amostras de campo								Total	Erro *C	Pixels **BC
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Hidrografia/Sombra-1	4319	0	0	6	0	0	0	0	4325	0.14%	99.86%
Banhado-2	0	2596	368	277	0	10	0	0	3251	20.15%	79.85%
Campo Nativo-3	1	52	7112	3	0	4	0	0	7172	0.84%	99.16%
Floresta Ombrófila-4	6	8	0	22083	12	1	105	0	22215	0.59%	99.41%
Pastagem/Lavoura-5	0	2	2	280	1684	0	0	0	1968	14.43%	85.57%
Solo Exposto-6	35	0	0	1	0	3516	0	0	3552	1.01%	98.99%
Floresta Exótica-7	0	0	0	426	0	0	2950	0	3376	12.62%	87.38%
Nuvem-8	0	0	1	4	0	0	0	16833	16838	0.03%	99.97%
Total	4361	2658	7483	23080	1696	3531	3055	16833	62697		
Erro de omissão	0.96%	2.33%	4.96%	4.32%	0.71%	0.42%	3.44%	0.00%	2.56%		

\* Comissão  
\*\* Bem Classificados

Índice Kappa = 0.9668  
Exatidão global = 0.97 (97%)

**Tabela 11** - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 220, de 31 de agosto 2010.

Classes temáticas	Amostras de campo										Total	Erro *C	Pixels **BC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Hidrografia-1	1036	0	0	0	0	0	122	0	0	52	1210	14.38%	85.62%
Campo Nativo-2	0	5128	25	0	13	0	14	0	0	0	5180	1.00%	99.00%
Banhado-3	0	10	1837	61	121	4	7	0	0	0	2040	9.95%	90.05%
Floresta ombrófila-4	4	0	1	7690	2	270	0	6	0	1	7974	3.56%	96.44%
Pastagem/Lavoura-5	0	64	16	8	2313	1	0	100	1	0	2503	7.59%	92.41%
Floresta Exótica-6	0	0	0	167	0	4551	0	1	0	0	4719	3.56%	96.44%
Solo Exposto-7	15	5	0	0	0	0	4573	0	0	0	4593	0.44%	99.56%
Flor. Extra-Ilumin.-8	0	0	0	28	20	0	0	5813	0	0	5861	0.82%	99.18%
Nuvem-9	0	0	0	1	0	0	1	2	1671	0	1675	0.24%	99.76%
Sombra-10	135	0	0	0	0	0	0	0	0	2342	2477	5.45%	94.55%
Total	1190	5207	1879	7955	2469	4826	4717	5922	1672	2395	38232		
Erro de Omissão	12.94%	1.52%	2.24%	3.33%	6.32%	5.70%	3.05%	1.84%	0.06%	2.21%	3.34%		

\* Comissão  
\*\* Bem Classificados

Índice Kappa = 0.9616  
Exatidão global = 0.96 (96%)

**Tabela 12** - Matriz de confusão gerada a partir da classificação supervisionada MAXVER na imagem Landsat, órbita 221, de 7 de setembro 2010.

Classes temáticas	Amostras de campo								Total	Erro C	Pixels BC
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Hidrografia/Sombra-1	5272	0	0	0	0	7	0	0	5279	0.13%	99.87%
Banhado-2	2	482	59	118	0	15	0	0	676	28.70%	71.30%
Campo Nativo-3	0	3	9889	6	0	23	0	0	9921	0.32%	99.68%
Floresta Ombrófila-4	71	2	0	22695	0	0	219	0	22987	1.27%	98.73%
Pastagem/Lavoura-5	0	0	0	146	9366	0	3	0	9515	1.57%	98.43%
Solo Exposto-6	70	1	4	0	0	7177	0	0	7252	1.03%	98.97%
Floresta Exótica-7	0	0	0	295	0	0	6079	0	6374	4.63%	95.37%
Nuvem-8	1	0	22	10	3	2	0	384	422	9.00%	91.00%
<b>Total</b>	<b>5416</b>	<b>488</b>	<b>9974</b>	<b>23270</b>	<b>9369</b>	<b>7224</b>	<b>6301</b>	<b>384</b>	<b>62426</b>		
<b>Erro de omissão</b>	<b>2.66%</b>	<b>1.23%</b>	<b>0.85%</b>	<b>2.47%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.65%</b>	<b>3.52%</b>	<b>0.00%</b>	<b>1.73%</b>		

\* Comissão

\*\* Bem Classificados

Índice Kappa = 0.9779

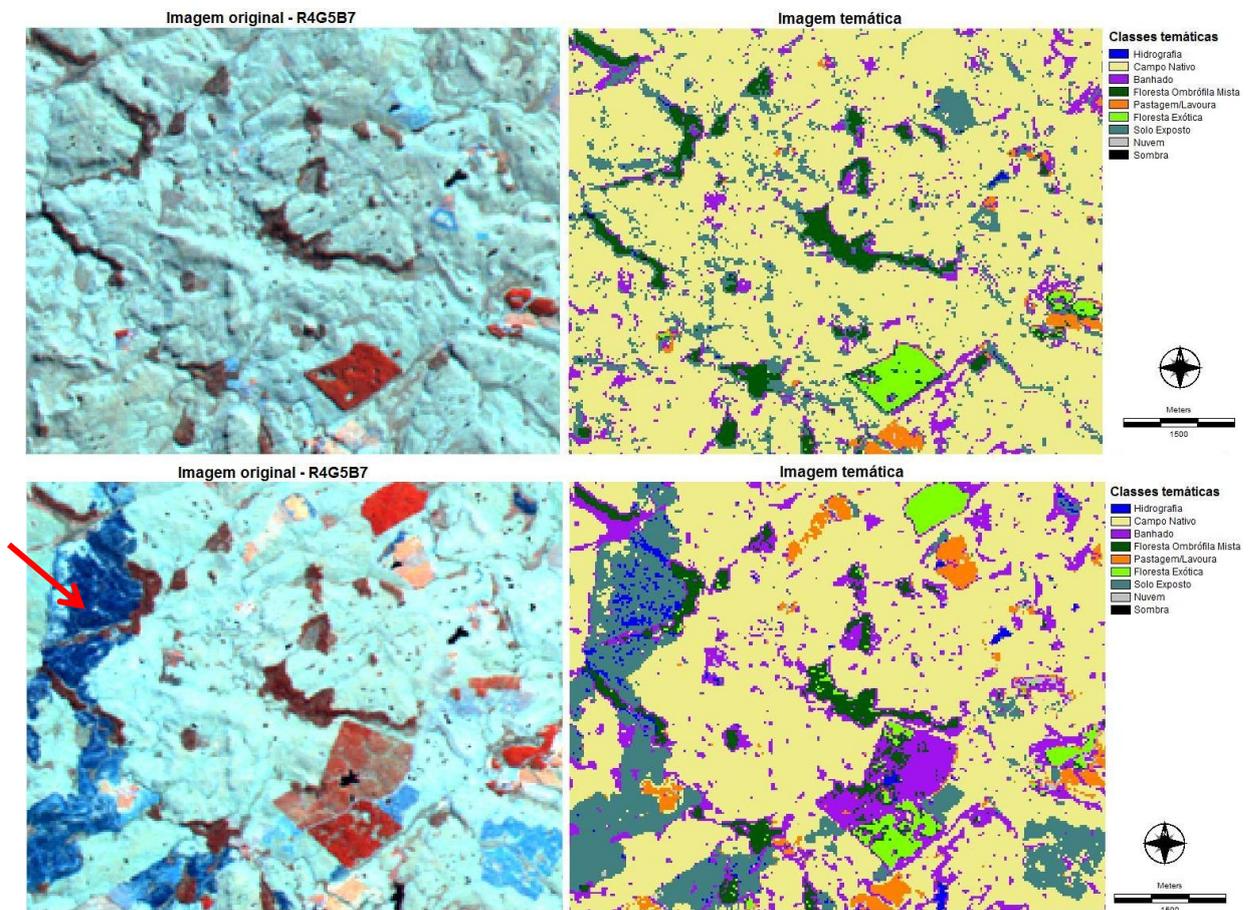
Exatidão global = 0.9826 (98%)

Conforme o resultado geral do índice Kappa (LANDIS & KOCH 1977), a classificação foi avaliada como excelente nos quatro mapas gerados e a exatidão global, que se refere ao percentual de pixels corretamente classificados considerando todas as classes, indicou também um bom acerto, que ficou acima dos 95%.

Considerando a análise apenas da classe de interesse (Floresta Ombrófila Mista), o índice Kappa de concordância indicou os seguintes valores: 0,98 para a imagem de 1987 (órbita 220); 0,95 para a imagem de 2010 (órbita 220); 0,93 para a imagem de 1987 (órbita 221); e 0,96 para a imagem de 1987 (órbita 221). O índice de acertos também foi satisfatório. O maior erro de comissão ocorreu na imagem de 1987, órbita 220, e representa 8,14% de pixels adicionados à classe em questão, mas que pertencem à outra classe temática. Mesmo assim, o percentual de acertos específico da classe de floresta nativa é superior a 91%. O maior erro de omissão da classificação foi atribuído à imagem de 1987, órbita 221, e representa 4,32% de pixels que pertencem à classe em questão, mas que foram rotulados em outra categoria temática. A principal confusão na identificação da Floresta Ombrófila Mista ocorreu pela similaridade com a resposta espectral da classe Floresta Exótica, onde os maiores erros da classificação ocorreram nas bordas dessa formação florestal, como também nas áreas de contato com a vegetação nativa e banhado.

Além da análise da matriz de confusão, o resultado visual do mapeamento temático indica boa precisão considerando apenas a classe temática de interesse (Floresta Ombrófila Mista), conforme a interpretação do analista. Para evidenciar o

fato, foram selecionadas duas áreas onde são apresentadas as imagens originais em comparação com os resultados da classificação (**Figuras 29 e 30**).

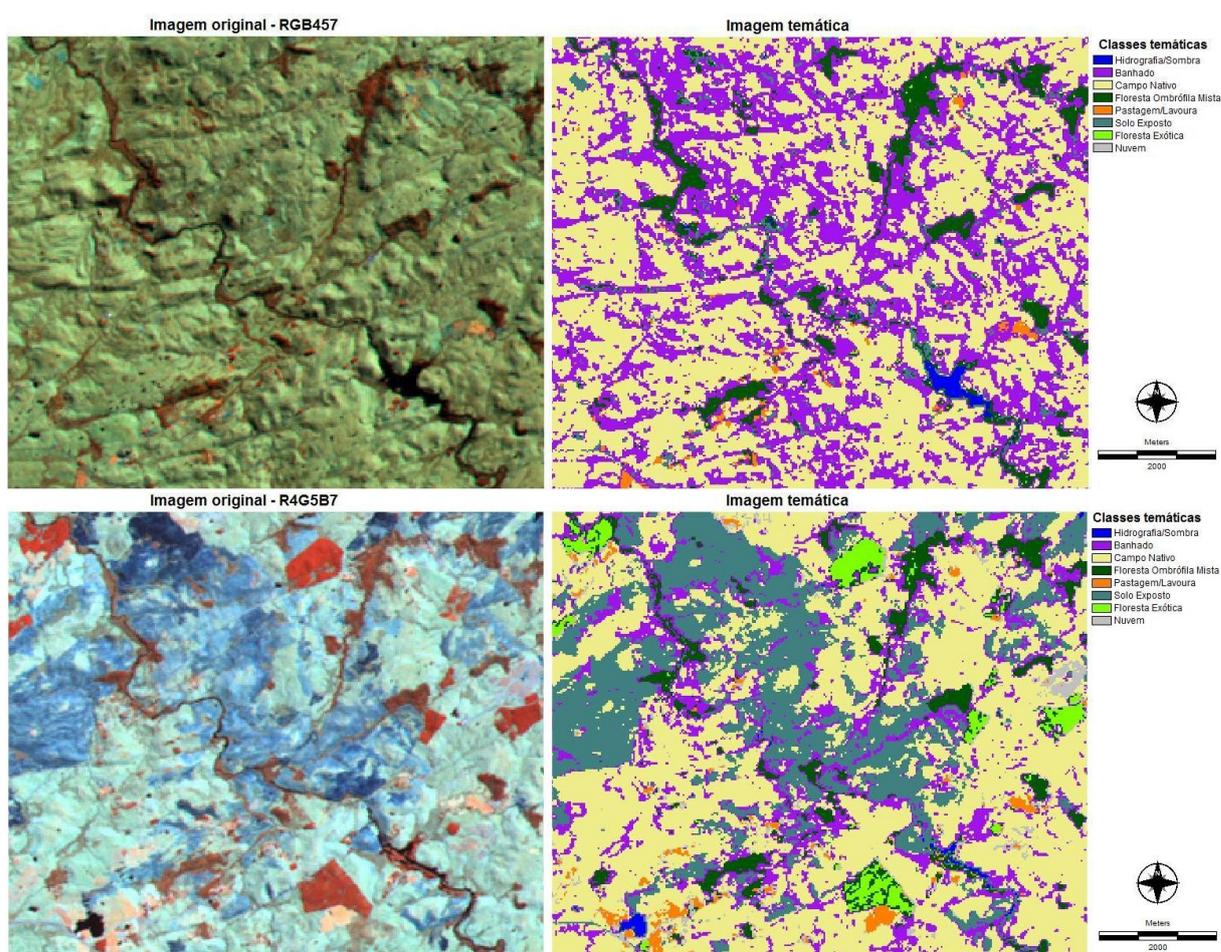


**Figura 29** - Comparação entre as imagens de satélite originais de 1987 (superior) e 2010 (inferior), com as suas respectivas áreas classificadas. Imagem Landsat TM-5, órbita 220, coordenada central: projeção UTM, datum WGS84, fuso 22, 585804 E e 6828531 N.

O recorte das imagens foi selecionado em área de matriz campestre, na porção norte da região de estudo, que apresenta pequenas manchas e fragmentos florestais nativos. Visualmente, o bom delineamento das áreas de floresta nativa reforça o resultado apresentado na matriz de confusão (**Tabelas 9 a 12**), que indicam uma classificação satisfatória quanto às áreas de vegetação arbórea. Na imagem de 2010, considerando que a cena foi imageada no final do inverno (setembro), percebe-se que as áreas mais escuras (seta vermelha - **Figura 29**) são o resultado de queimadas relacionadas ao manejo do campo que envolvem, inclusive, os limites dos fragmentos florestais nativos.

Na comparação visual entre as áreas de floresta nativa identificadas no mapeamento temático, observou-se a nítida expansão da silvicultura e do manejo agrícola (solo exposto e queimadas), com um aumento de área que pode ser

considerado superior a 50% no período de 23 anos. Levando-se em conta a resolução espacial da imagem (30 m), que limita a precisão da análise, o maciço florestal nativo permanece praticamente inalterado, especialmente nas partes centrais (núcleos) das suas áreas de ocupação. Porém, observou-se na classificação das imagens de 1987 e 2010 algumas áreas maiores que indicam a supressão da floresta, sendo que um dos principais motivos dessa redução da vegetação arbórea nativa refere-se ao plantio de espécies exóticas destinadas à silvicultura. Nesse contexto, as florestas exóticas formam, aos poucos, uma pressão sobre as bordas dos remanescentes florestais nativos e o processo de expansão é gradual, o que torna o diagnóstico mais difícil, pela maior mistura (confusão) espectral entre as classes, especialmente quando são utilizadas imagens de satélite de média e baixa resolução espacial.



**Figura 30** - Comparação das imagens de satélite de 1987 (superior) e 2010 (inferior), com as suas respectivas áreas mapeadas. Imagem Landsat TM-5, órbita 221, coordenada central: projeção UTM, datum WGS84, fuso 22, 567946 E e 6833323 N.

A **Figura 31** representa o mapa temático da floresta nativa identificada em 1987. Nesse período, existe uma extensa região ocupada por nuvens, junto aos vales do rio das Antas e rio Pelotas, que totaliza uma área de 411,80 km<sup>2</sup>. Pela inexistência do fator nuvens na área de estudo para a imagem de 2010, no mapa temático do respectivo ano são observadas grandes áreas florestais nativas, que indicam a ocupação da floresta após a cena de 1987. Essas áreas mascaradas por nuvens em 1987 poderiam causar uma falsa impressão quanto à evolução da vegetação, pois não existe a prova real no passado, ao menos na imagem, que possa evidenciar a sua existência na ausência de resposta espectral passível de identificação. Por isso, a maior área de nuvens da cena de 1987 foi delimitada no mapa da Floresta Ombrófila Mista de 2010 (**Figura 32**). De forma geral, por comparação meramente visual entre os mapas temáticos e as imagens de satélite, ao longo de período de 23 anos, a organização espacial da floresta sofreu poucas alterações drásticas, com áreas de supressão ao longo das bordas e em pequenos fragmentos, especialmente em áreas de floresta contínua, mas também com compensações (regeneração) de proporções semelhantes em outros locais. Na região onde os campos predominam, a maior parte das pequenas formações florestais, incluindo os capões de mata não se extinguiu. Mesmo assim, a sua ocupação em termos de área é baixa.

O monitoramento do desmatamento da vegetação nativa da Mata Atlântica, realizado pelo MMA/IBAMA (2010), aponta 20 municípios brasileiros que tiveram a maior quantidade de supressão vegetal. Dentre eles, citam São Francisco de Paula, com uma área de supressão estimada em 40,09 km<sup>2</sup>, entre os anos de 2002 a 2008.

A **Tabela 13** apresenta a quantificação do mapeamento da floresta nativa obtido para cada período analisado, nos anos de 1987 e 2010.

**Tabela 13** - Área e valor percentual de Floresta Ombrófila Mista, obtidos a partir dos mapas temáticos de 1987 e 2010.

Classe Temática	Ano de 1987		Ano de 2010	
	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Floresta	1.953,37	21,69	2.492,86	27,68
Outras	7.051,01	78,31	6.511,52	72,32
<b>Total</b>	<b>9.004,38</b>	<b>100</b>	<b>9.004,38</b>	<b>100</b>

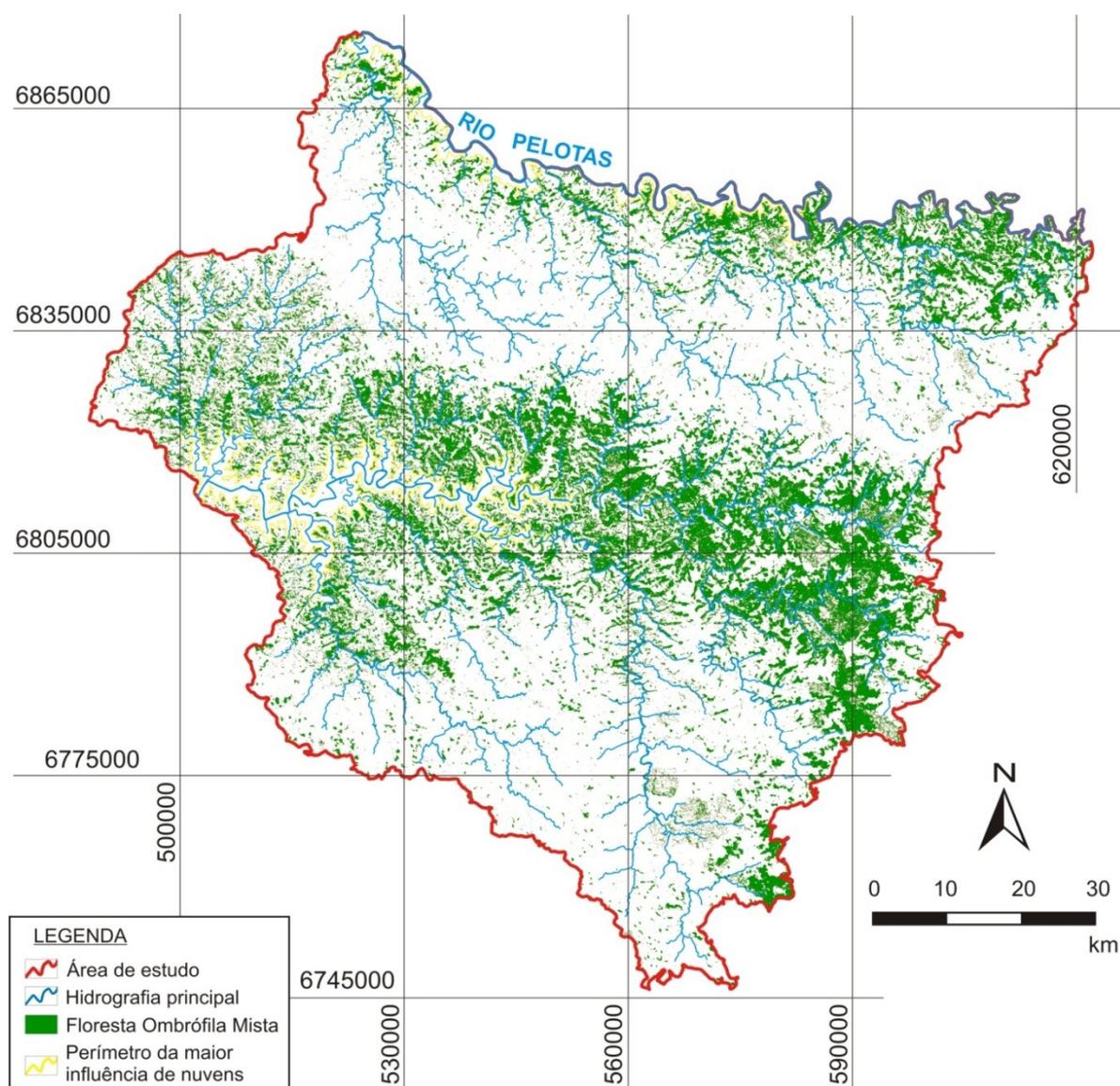
A área da floresta nativa na imagem temática de 1987 pode estar subestimada nas regiões onde ocorreu a grande concentração de nuvens. Por isso, desconsiderando as porções de floresta mapeadas em 2010, cujas respectivas áreas representam a interferência de nuvens, num total de 324 km<sup>2</sup>, a área de Floresta Ombrófila Mista pode ser estimada em 2.168,86 km<sup>2</sup>, que representa 24,08% da área de estudo.

Os resultados quantitativos (**Tabela 13**), considerando a estimativa da floresta em 2010 sem a influência de nuvens que ocorreram em 1987, indicam um pequeno aumento da área florestal no período de 23 anos. Nesse sentido, pouco se alterou no cenário de ocupação da floresta nativa e, pelo conhecimento adquirido junto à área de estudo, a maior modificação da paisagem refere-se a incrementos das áreas de floresta exótica e pastagem. Essas atividades dificultam a estruturação dos processos ecológicos naturais das espécies nativas, ainda mais em ambientes cuja dinâmica da floresta é pouco compreendida. Conforme a análise da imagem de 2010, a silvicultura ocorre com frequência na região de estudo e ocupa uma área estimada em 501,88 km<sup>2</sup>, com grandes porções de floresta exótica localizadas em áreas próximas aos recursos hídricos, incluindo os banhados.

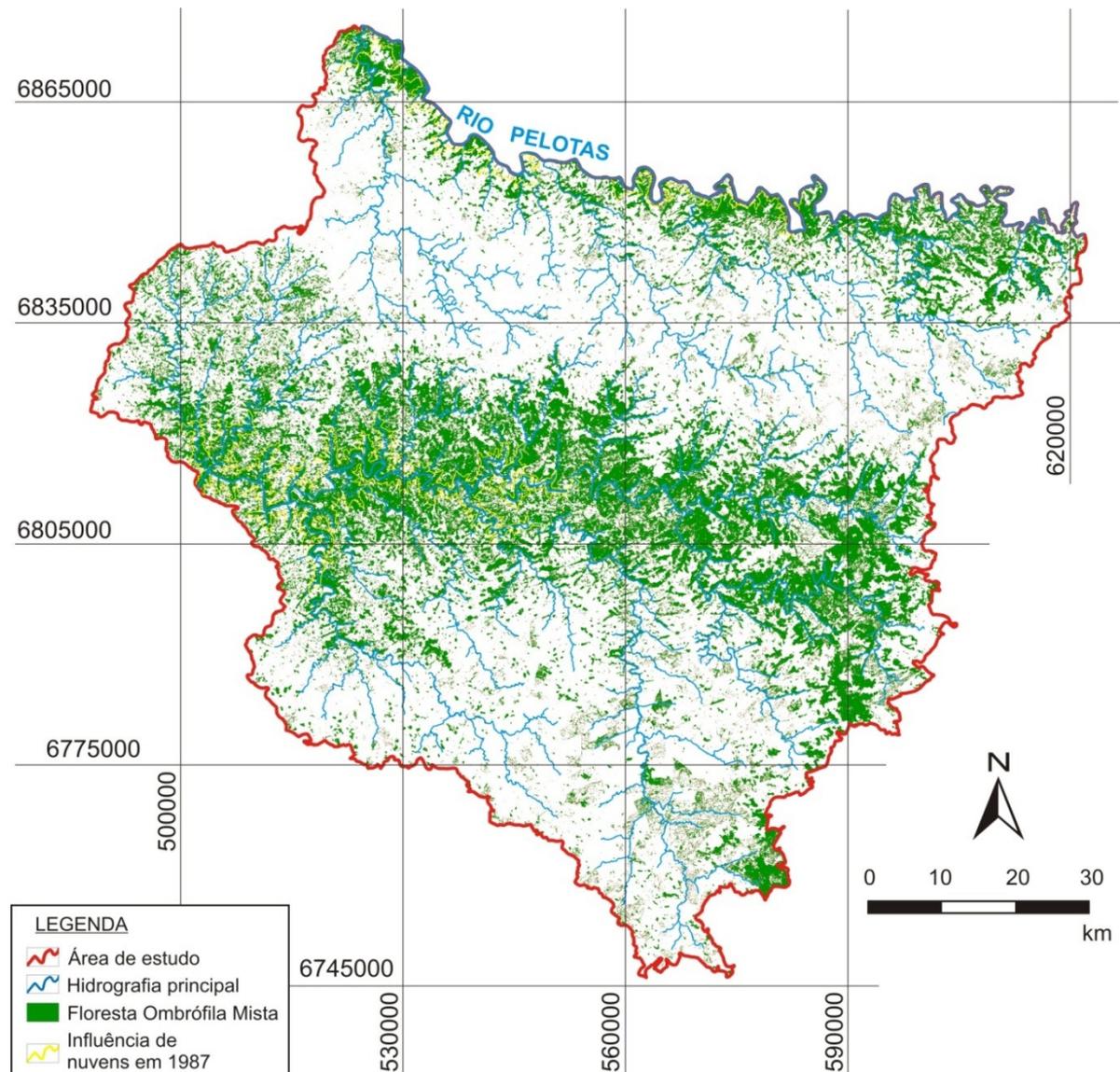
Mapeamentos de florestas nativas inseridas no Bioma Mata Atlântica foram realizados anteriormente ao presente trabalho, para o período de 2002 a 2008. Dentre os trabalhos, cita-se: o Projeto do Monitoramento dos Biomas Brasileiros por Satélite, apresentado em 2010 e desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em parceria com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); e o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, apresentado em 2011 e realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Em ambos os trabalhos, existem diferenças quanto aos resultados apresentados, pois as metodologias são distintas. No caso do projeto do MMA/IBAMA, a área mínima de mapeamento é de 2 hectares (ha), enquanto que no trabalho do SOS Mata Atlântica e INPE essa área mínima é de 3 ha. Além disso, o primeiro considera uma área mínima de 40 ha para o mapeamento de fragmentos, e o segundo considera uma área mínima de 100 ha.

O monitoramento dos remanescentes florestais nativos apresentado pelo MMA/IBAMA, dentro dos limites da área de estudo (9.004,38 km<sup>2</sup>) do presente

trabalho (Região Nordeste do RS), para o ano de 2008 indica uma área de mata de 1.064,2 km<sup>2</sup>, que corresponde a 11,81% do total de da área do presente estudo. Já o monitoramento do SOS/INPE, dentro do mesmo limite de estudo indica uma área de 1.575 km<sup>2</sup>, que representa a floresta nativa no ano de 2008. Ambos os resultados estão subestimados em relação ao mapeamento do presente trabalho. Mesmo que tenham sido utilizadas imagens de satélite com resolução espacial similar, explica-se a diferença de área de floresta pela metodologia, que nesses projetos anteriores, envolve o monitoramento do desmatamento, considerando a vegetação primária e a secundária em estágio avançado de regeneração, além de uma área mínima de mapeamento.



**Figura 31** - Mapa temático com as áreas de Floresta Ombrófila Mista identificadas a partir das imagens de satélite em 1987, Região Nordeste do RS.



**Figura 32** - Mapa temático com as áreas de Floresta Ombrófila Mista identificadas a partir das imagens de satélite em 2010, Região Nordeste do RS.

### 5.3 Variáveis Geomorfométricas e a Área de Estudo

A **Figura 33** representa a distribuição espacial das variáveis geomorfométricas dentro da área de estudo, onde estão inseridas as áreas de Floresta Ombrófila Mista.

A distribuição numérica e a amplitude dos dados das variáveis geomorfométricas (TOPODATA), através de histogramas de frequências (**Figura 34**), proporcionaram a caracterização geral de todo o ambiente selecionado para a análise, que segue abaixo:

- Altimetria: varia de 335 a 1386 metros (m). A média de altitude é de 944 m e as maiores frequências de ocorrência correspondem às áreas mais elevadas do terreno, na faixa entre 800 e 1.000 m. Além disso, o histograma de frequências indica uma saliência na faixa entre 1.180 e 1.200 m, que representa o extremo nordeste da área de estudo, que possui altitudes superiores a 1.000 m.

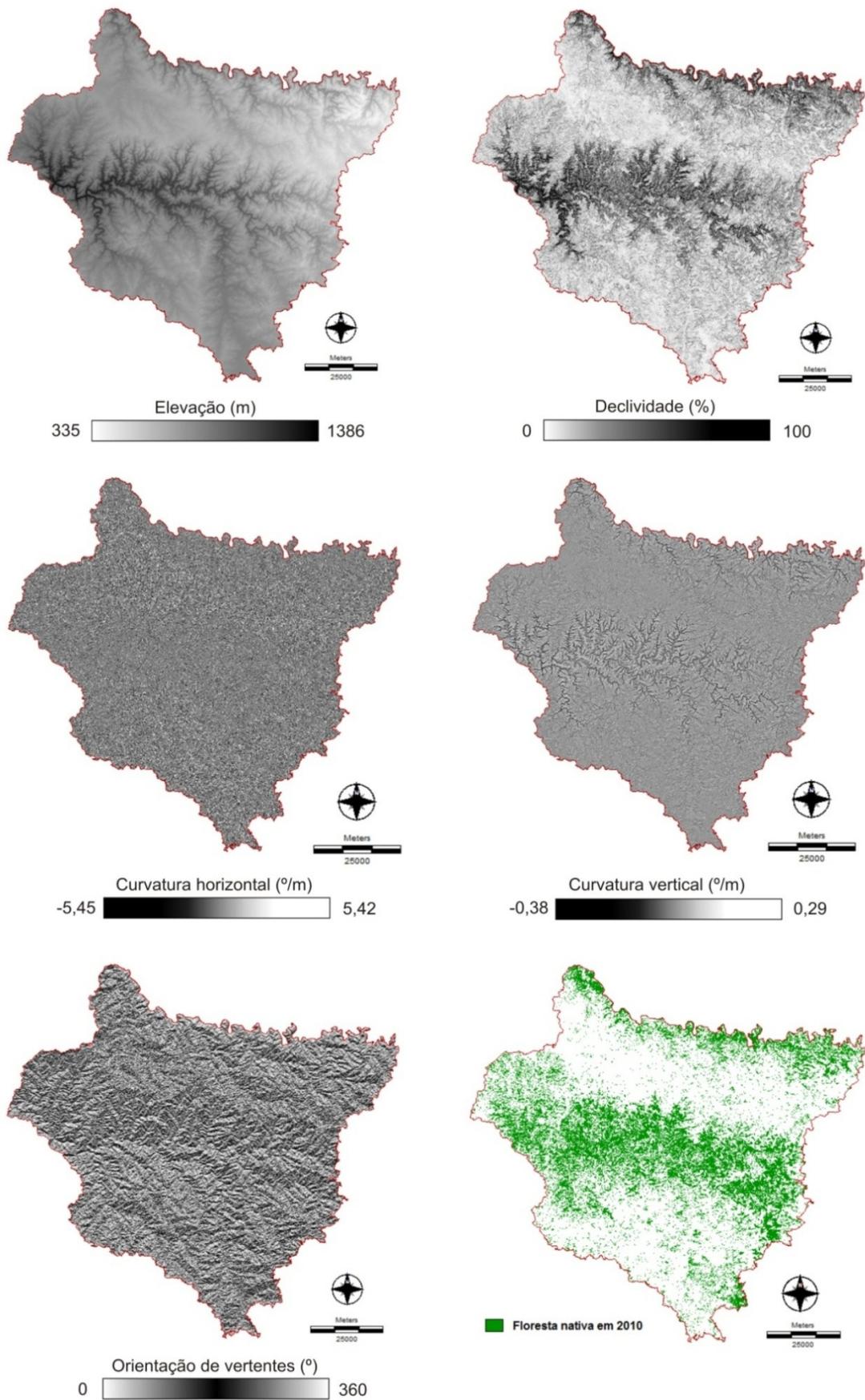
- Declividade: na área de estudo, ocorrem todas as formas de relevo, desde planícies até encostas escarpadas. A faixa média é de 18,8%, que corresponde a terrenos ondulados, conforme a classificação adotada pela EMBRAPA (1999). Além disso, são expressivas também as áreas com características de relevo forte ondulado e suave ondulado (moda = 6%).

- Orientação de Vertentes: ocorre em todas as direções e o histograma de frequências apresenta uma distribuição bimodal, com as maiores ocorrências em torno das vertentes norte e sul.

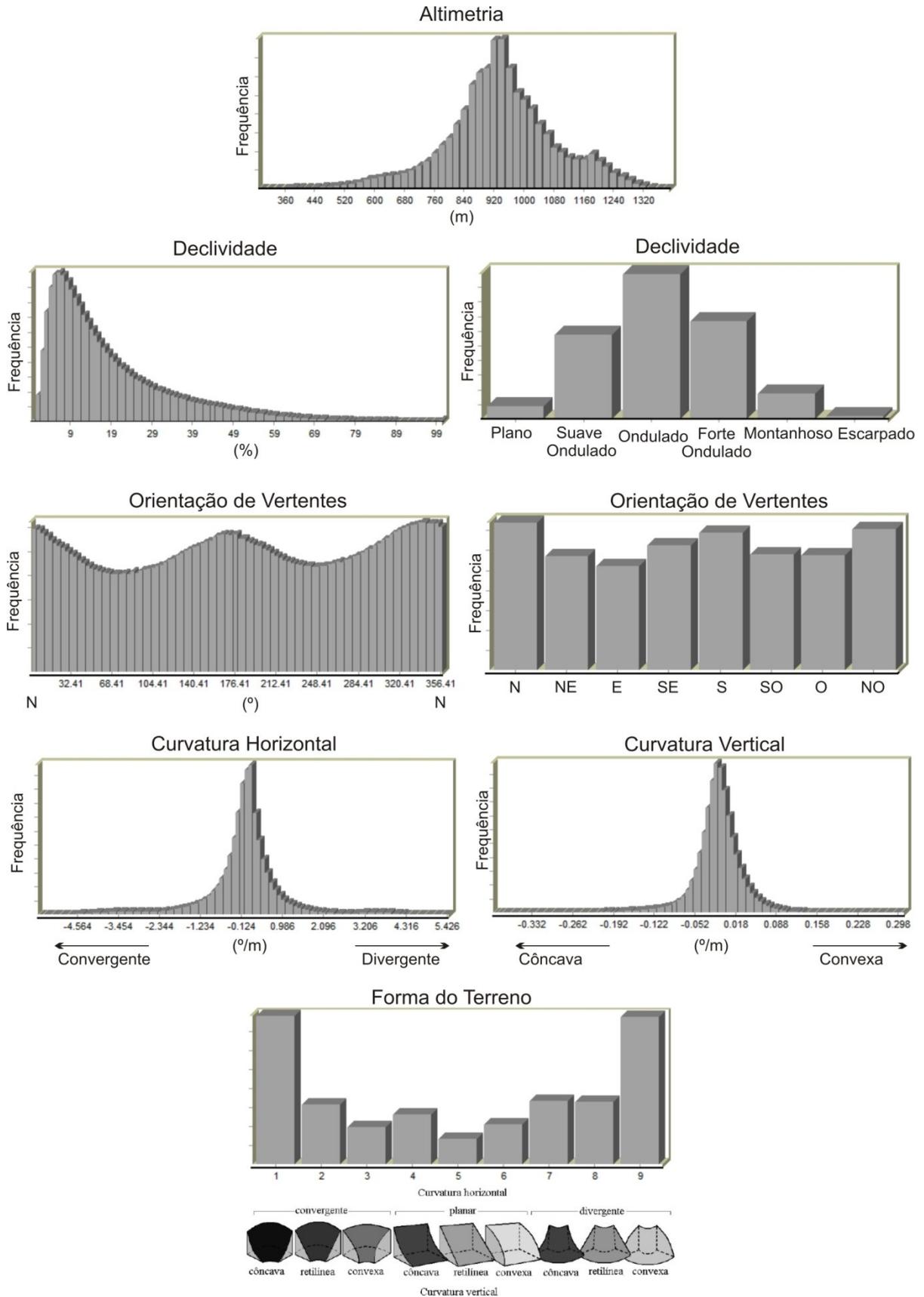
- Curvatura Horizontal: a amplitude varia de -5,45 a 5,42. A simetria de distribuição das frequências de ocorrência indica um equilíbrio entre as formas de terreno com curvatura convergente e divergente.

- Curvatura Vertical: a amplitude varia de -0,38 a 0,29, com frequências de ocorrência de curvatura côncava e convexa em proporções semelhantes. Mesmo assim, existe uma leve inclinação quanto à maior ocorrência de terrenos com curvatura côncava.

A análise da Forma do Terreno, resultado da combinação entre a curvatura horizontal e vertical, indicou a existência de todas as combinações em termos de classe, com tendência ao equilíbrio entre as formas.



**Figura 33** - Relação das variáveis geomorfométricas e o mapa da Floresta Ombrófila Mista obtido a partir da imagem de 2010, Região Nordeste do RS.



**Figura 34** - Distribuição de frequência das variáveis geomorfológicas na área de estudo analisada.

#### 5.4 Padrão de Ocupação da Floresta Nativa

Na análise das imagens de satélite de 2010, considerando a hidrografia da escala 1:50.000, a classe temática mapeada como Floresta Ombrófila Mista tem 39% do total de sua área (2.492,86 km<sup>2</sup>) localizada em uma distância inferior a 100 metros dos recursos hídricos. Se for considerada uma distância de até 200 metros em relação à hidrografia, o percentual de vegetação é maior e representa 62% do total. Aumentando o limite do perímetro para 300 metros, 80% da floresta mapeada ocorre dentro dessa distância máxima. Por fim, considerando a distância máxima de 400 metros, 90% da classe florestal ocorre dentro desse perímetro de área. Pelo resultado encontrado, a proximidade da floresta nativa com a hidrografia não foi considerada como fator restritivo à sua ocupação e, pela sua importância, foi utilizada como um dos fatores de potencialidade na representação do mapa final.

Para a análise do padrão de ocupação da floresta nativa ao longo do tempo através das variáveis geomorfométricas locais, foi selecionada somente a área de ocorrência desta formação vegetal, nas imagens de 1987 e 2010.

A **Figura 35** representa os histogramas da frequência de ocorrência das variáveis geomorfométricas somente na área mapeada como Floresta Ombrófila Mista em 1987. São descritas as características observadas quanto aos valores numéricos, conforme a altimetria, declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical. Em caráter qualitativo, a ocupação florestal foi descrita de acordo com as classes de forma do terreno.

- Altimetria: a amplitude varia de 458 a 1.384 m, com média de 931 m e a moda de 927 m. A simetria da distribuição da frequência de elevação da floresta tende ao equilíbrio entre as menores e maiores altitudes. As maiores ocorrências de ocupação florestal são representadas pelas médias altitudes, com o pico na faixa de 879 a 958 m. O resultado indica proximidade com o resultado da média geral de altimetria, considerando toda a área de estudo.

- Declividade: são registradas todas as faixas percentuais de declividade. A distribuição dos dados indica assimetria positiva, com preferências de ocupação por terrenos com declividade menos acentuada. A média é 27%. O pico da distribuição é representado pelas faixas de 14 a 19%, com moda em 16%, que correspondem a

terrenos ondulados. O resultado exibe uma menor preferência por terrenos com declividade inferior a 3% e o deslocamento da curva de frequências indica uma tendência à ocupação de terrenos de média ondulação (ondulado e forte ondulado).

- Orientação de Vertentes: a ocupação da floresta ocorre em todas as direções (amplitude de 0 a 360°). A distribuição dos dados segue tendência bimodal, com maior preferência por terrenos com vertentes orientadas para o sul (S), com o pico de distribuição na faixa de 162 a 196°. De forma menos frequente, a floresta ocupa terrenos cujas vertentes possuem orientação sudoeste (SO), oeste (O), sudeste (SE) e noroeste (NO). As menores frequências ocorrem em orientações a leste (E) e nordeste (NE).

- Curvatura Horizontal: a amplitude varia de -5,44 a 4,43 ‰ e representa ampla distribuição. A simetria de distribuição dos dados indica uma leve tendência à ocupação de terrenos convergentes.

- Curvatura Vertical: a amplitude varia com valores entre -0,35 e 0,23 ‰. A simetria de distribuição dos dados indica uma leve tendência à ocupação de terrenos de curvatura côncava.

A análise da Forma do Terreno indica uma leve preferência por terrenos com curvatura convergente e côncava, mas a vegetação arbórea também ocorre nas demais classes da forma.

A **Figura 36** representa os histogramas da frequência de ocorrência das variáveis geomorfométricas nas áreas mapeadas como Floresta Ombrófila Mista em 2010. São utilizadas as mesmas variáveis que descrevem a classe em 1987.

- Altimetria: a floresta nativa ocupa uma faixa de altitude que varia de 342 até 1384 m. A grande amplitude de ocupação dessa vegetação, em variados compartimentos altimétricos do terreno, que compreendem quase toda a área de estudo, não representa uma condição de restrição à sua ocupação. A formação florestal ocorre com maior frequência em regiões de altitude na faixa dos 872 a 942 m, com valor médio de 893 m e moda de 928 m. A simetria da distribuição da frequência de elevação da floresta tende ao equilíbrio entre as menores e maiores altitudes. Na comparação com o resultado de ocupação da floresta em 1987, a distribuição atual exibe uma pequena saliência na curva de frequência, entre a faixa de 560 a 640 m, que reflete a ocupação em áreas que não foi possível o

mapeamento em 1987, pela presença de nuvens nas menores altitudes, que possuem vegetação em 2010.

- Declividade: são registradas todas as faixas percentuais de declividade, semelhante à ocupação em 1987. A declividade média é 28,88%, que corresponde a relevos forte ondulados, mas o pico das frequências está em torno de 12 a 17%, que representa terrenos ondulados. A moda é 16% e a forma de distribuição da declividade é assimétrica positiva, com preferência por menores faixas percentuais e tendência a terrenos de média ondulação. A variável não representa uma condição de restrição à ocupação da floresta. Em comparação com 1987, o histograma de ocupação exibe um leve aumento de ocorrência em áreas de maior declividade.

- Orientação de Vertentes: possui distribuição bimodal, com a ocupação da floresta em todas as direções (amplitude de 0 a 360°). O valor da moda (169°) indica terrenos com orientação voltada para o sul (S), que é a maior preferência de ocupação. A segunda preferência (320° de moda) está relacionada a terrenos com orientação voltada para o noroeste (NO). As menores frequências ocorrem em terrenos orientados para leste (E) e nordeste (NE). Com base nos dois períodos de análise, a orientação do terreno não representa uma condição de restrição. Se comparados com 1987, os resultados indicam uma maior distribuição de ocorrências nas diferentes orientações do terreno.

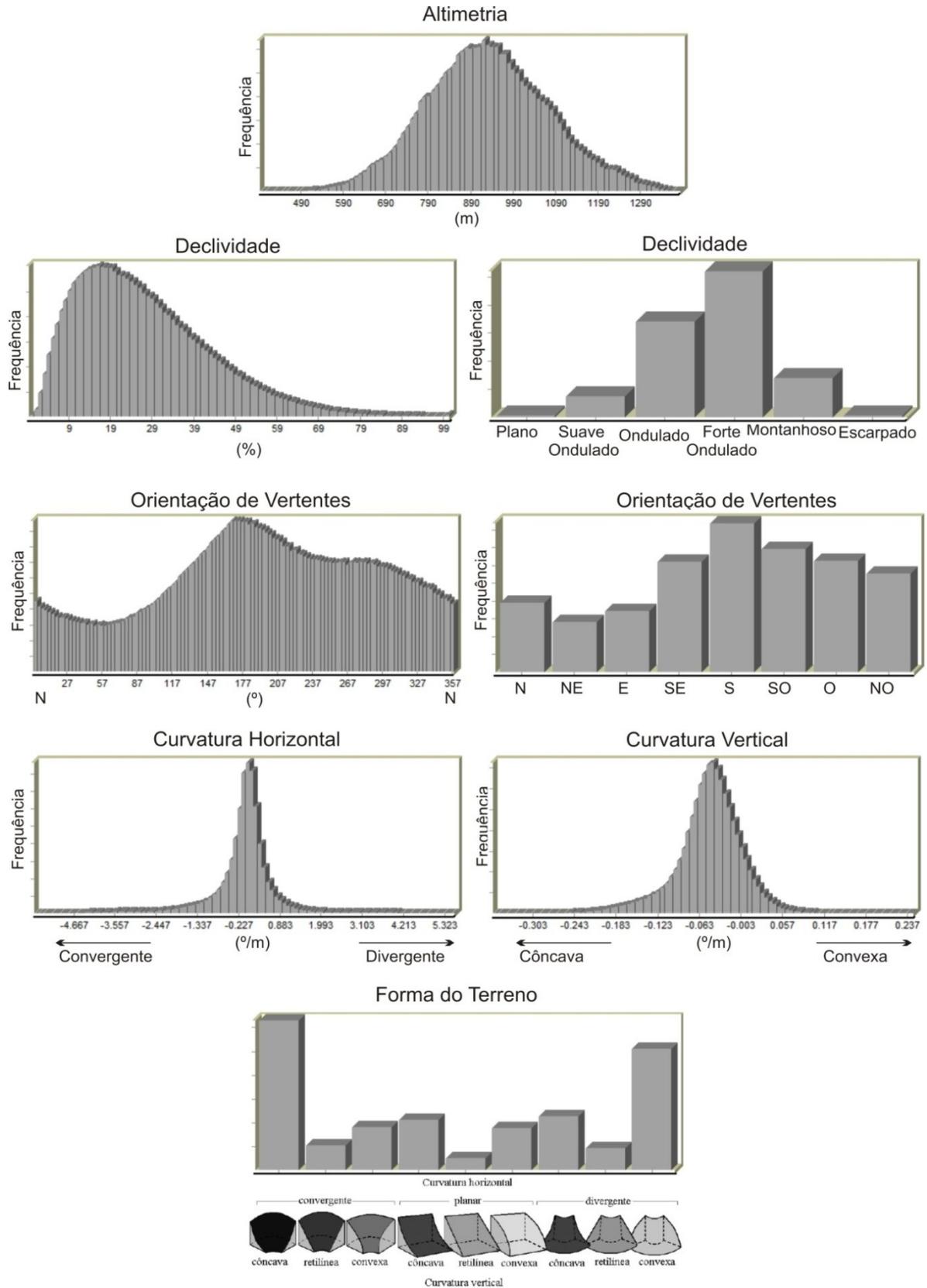
- Curvatura Horizontal: a amplitude varia de -5,34 a 5,32. Nesse sentido, a variável não apresenta limiares numéricos de restrição à floresta nativa. A simetria de distribuição das frequências indica uma leve tendência à ocupação de terrenos convergentes.

- Curvatura Vertical: a amplitude varia de -0,31 a 0,27, igualmente sem restrições à ocorrência da floresta. A simetria de distribuição das frequências indica uma leve tendência a terrenos côncavos.

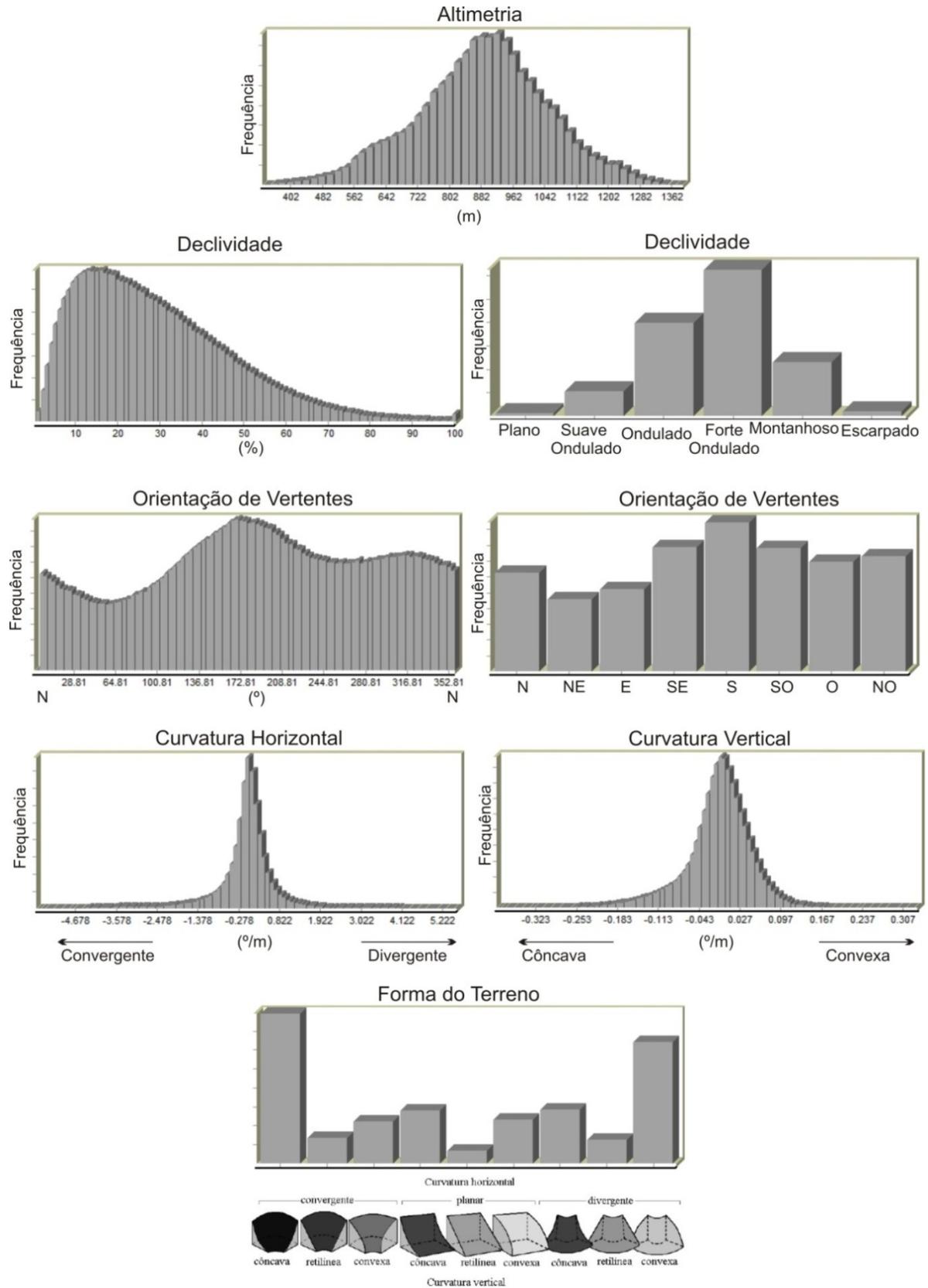
A análise da Forma do Terreno segue tendência parecida ao período passado, com uma leve preferência por terrenos com curvatura convergente e côncava.

O resultado de frequência das variáveis geomorfométricas em áreas ocupadas pela floresta nativa em 2010 indica grande similaridade, com médias e

ocorrências muito próximas, quando comparado com os mapas da mesma classe, mas desconsiderando as áreas de nuvem e sombra detectadas na imagem de 1987.



**Figura 35** - Distribuição de frequência das variáveis geomorfológicas nas áreas de ocupação da Floresta Ombrófila Mista mapeadas em 1987.



**Figura 36** - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas nas áreas de ocupação da Floresta Ombrófila Mista mapeadas em 2010.

A **Figura 37** representa os histogramas de frequência das variáveis geomorfológicas nas áreas em que a Floresta Ombrófila Mista ocorre sobre a matriz campestre, que possui uma amplitude altimétrica na faixa de 830 a 1.386 m, na divisa entre as bacias Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava. São utilizadas as mesmas variáveis que descrevem a ocupação das demais áreas de floresta nativa mapeadas em 2010.

- Altimetria: excluindo-se as áreas com elevação inferior a 830 m, a amplitude de ocupação da floresta varia de 845 a 1.384 m, com média de 1.045 m e moda de 934 m. As maiores ocorrências quanto a áreas florestais sobre os campos são representadas pelas menores altitudes, dentro do limite superior analisado, com o pico na faixa de 934 a 953 m. Esse resultado colabora com a análise da distribuição da floresta em toda a área de estudo, onde as altitudes em torno dos 872 a 958 m são as preferenciais.

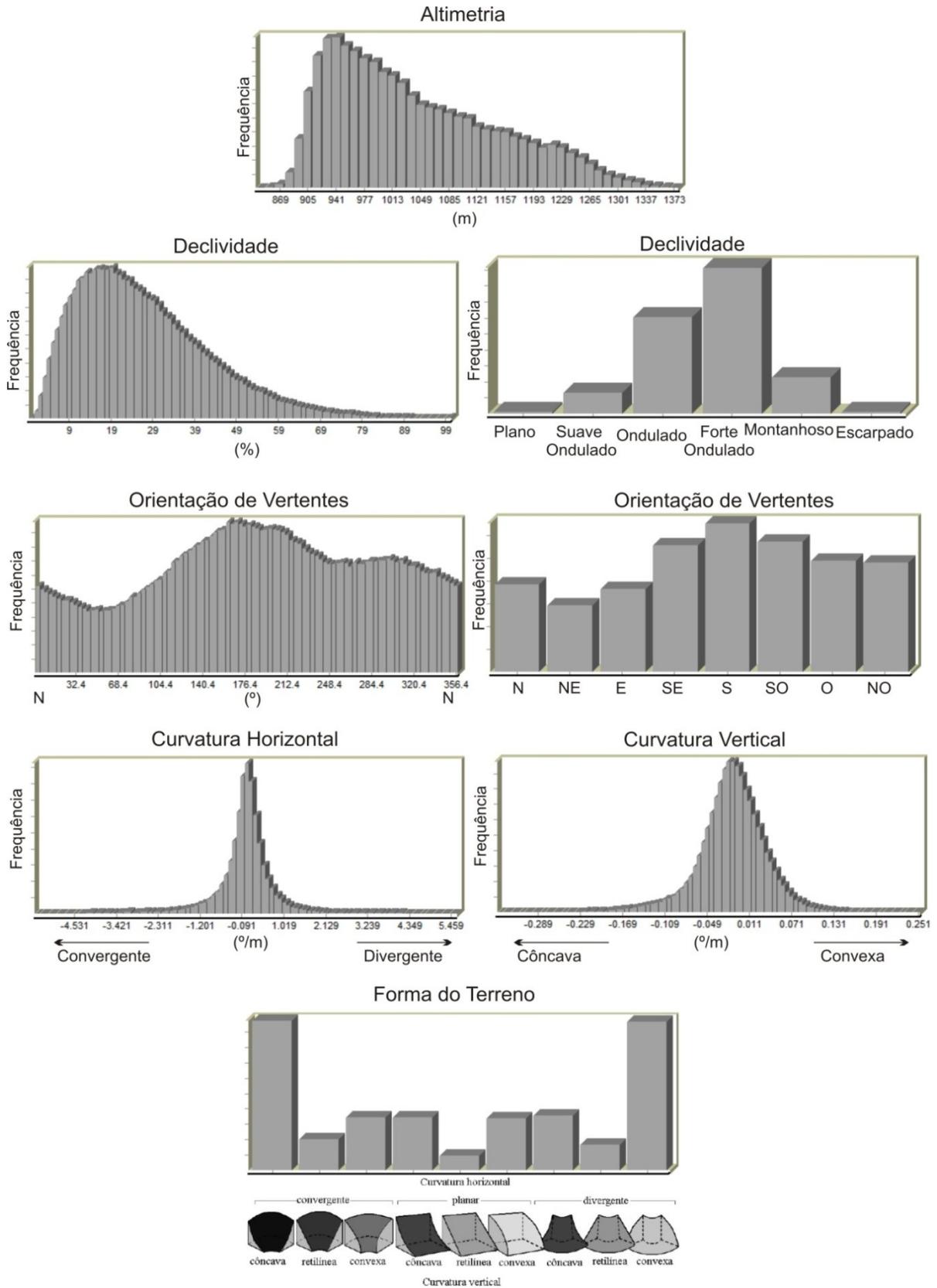
- Declividade: são registradas todas as faixas percentuais de declividade. A distribuição dos dados indica assimetria positiva, com preferências de ocupação por terrenos com menor declividade. O pico de frequências varia de 15 a 19% (moda), que representa terrenos ondulados. A média é 26,6% e representa terrenos forte ondulados. Os resultados observados para a floresta na parte dos campos são semelhantes aos obtidos na caracterização de toda a área de estudo, mas com uma leve tendência à ocupação de áreas de maior ondulação.

- Orientação de Vertentes: a frequência possui distribuição bimodal, com a ocupação da floresta em todas as direções (amplitude de 0 a 360°). A preferência de ocupação é pela orientação sul (S). Esse resultado é semelhante à descrição da ocupação em 2010. De forma menos frequente, a floresta ocorre em terrenos com vertentes à oeste (O) e noroeste (NO). A menor preferência é por vertentes orientadas para nordeste (NE).

- Curvatura Horizontal: a amplitude varia de -5,23 a 5,19. A simetria de distribuição das frequências tende ao equilíbrio entre as formas de terreno com curvatura convergente e divergente, mas com uma leve tendência à ocupação de terrenos convergentes.

- Curvatura Vertical: a amplitude varia com valores entre -0,30 e 0,27. A simetria de distribuição das frequências indica um equilíbrio entre as formas de terreno com curvatura côncava e convexa.

A análise da Forma do Terreno indica um equilíbrio na ocupação da floresta, sem preferências evidentes.



**Figura 37** - Distribuição de frequência das variáveis geomorfométricas em áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Mista na região dos campos, em altitudes superiores a 830 m.

Pelas análises descritivas da ocupação da floresta nativa em relação às variáveis geomorfométricas, não foi observada variação evidente que pudesse indicar diferenças entre a situação da classe considerando apenas a região superior dos campos em relação ao perfil geral da área de estudo. Ressalta-se que o foco da indicação de potencialidades da paisagem para a composição de vegetação nativa com extratos arbóreos, em nível de fitofisionomia, refere-se às áreas campestres que dividem as bacias dos rios Pelotas e Antas.

A comparação da Floresta Ombrófila Mista com a distribuição das cinco variáveis geomorfométricas analisadas, nos anos de 1987 e 2010, além da análise da parte superior dos campos, é apresentada na **Tabela 14**. Os dados são resumidos com as informações de distribuição preferencial.

**Tabela 14** - Distribuição das variáveis geomorfométricas nas áreas ocupadas pela Floresta Ombrófila Mista. Legenda: o símbolo (=) indica sem preferência evidente.

<b>Variável geomorfométrica</b>	<b>Floresta em 1987</b>	<b>Floresta em 2010</b>	<b>Floresta nos campos (2010)</b>
<i>Altitude (m)</i>	879 - 958	872 - 942	934 - 953
<i>Declividade (classe)</i>	Ondulado	Ondulado	Ondulado
	Forte Ondulado	Forte Ondulado	Forte Ondulado
<i>Orientação de Vertentes (classes)</i>	<b>S</b> , SO, O, SE, NO	<b>S</b> , SE, SO, NO, O	<b>S</b> , SO, SE, O, NO
<i>Curvatura Vertical (classes)</i>	=	=	=
<i>Curvatura Horizontal (classes)</i>	=	=	=

Os resultados resumidos na **Tabela 14** mostram semelhança quanto ao padrão de ocupação preferencial da floresta nativa nas três condições analisadas. As variáveis geomorfométricas que representam a altitude e declividade podem indicar com maior acurácia as preferências da Floresta Ombrófila Mista. Mesmo assim, não se pode afirmar que as variáveis analisadas sejam as únicas

responsáveis pela situação atual de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na Região dos Campos de Cima da Serra. Além de fatores naturais, existe também uma forte influência da ação humana sobre o ambiente. No presente trabalho, os fatores antrópicos não foram considerados ou avaliados para a análise do estado atual das florestas e estruturação do seu mapa potencial. O pressuposto do trabalho envolveu a análise ambiental, com a avaliação integrada de fatores naturais que possam auxiliar nas ações futuras de preservação ambiental voltada para a proteção da Mata Atlântica e de seus remanescentes florestais.

## **5.5 Análise de Áreas com Potencialidade para a formação de Floresta Ombrófila Mista**

### **5.5.1 Estruturação da Análise**

A partir dos resultados apresentados, além da fundamentação de outros trabalhos (PELOSO, 2009; BISPO, 2007) que tratam do potencial indicativo da geomorfometria na diferenciação de classes de vegetação, considera-se que o padrão de distribuição preferencial da floresta nativa na área de estudo seja influenciado ou, ao menos, favorecido por algumas das características geomorfométricas. Desse modo, para criar um mapa com a indicação de áreas potenciais à ocupação da floresta nativa, foram considerados os valores de frequência máxima (pico e moda) e média, identificados pela análise dos histogramas. De forma complementar, mas não menos importante, a proximidade com os recursos hídricos.

Não foram observadas condições de restrição natural às áreas de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na Região dos Campos de Cima da Serra, considerando a sua relação com as variáveis geomorfométricas, derivadas dos dados SRTM.

Quando se analisa as áreas ocupadas pela floresta nativa e o seu padrão de distribuição conforme as variáveis geomorfométricas, considera-se a declividade como o fator mais evidente nessa relação, seguido da altimetria e da curvatura vertical de caráter côncava. Os resultados obtidos pelas estatísticas de frequência entre a floresta e a geomorfometria confirmam a suposição inicial (**Tabela 14**) para as seguintes variáveis: declividade e altimetria.

A escolha do melhor fator de aptidão, baseado na declividade e altimetria, foi determinada pelo teste de similaridade entre as imagens (comando *Crosstab>Image Similarity/Association Data Only*). O resultado que indicou a melhor correlação (V Cramer's = 0,33) entre o maior valor potencial (255) e a ocupação florestal real, para o fator declividade, está descrito no item (e) da metodologia.

De forma similar, foram testados dois fatores de aptidão para a variável altimetria, onde a correlação mais evidente correspondeu ao valor de maior frequência de ocorrência (928 m) da floresta em 2010 (V Cramer's = 0,15). A baixa correlação evidenciada influenciou na ponderação da altimetria como fator de decisão ao potencial florestal.

Os fatores que melhor indicaram o potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na Região dos Campos de Cima da Serra, considerando o seu padrão atual de ocupação mapeado a partir das imagens de satélite, são representados pela hidrografia e declividade, conforme as potencialidades descritas no parágrafo anterior. Como são apenas dois os fatores considerados no critério de avaliação, foi estabelecida uma ponderação simples, em uma escala de 0 a 1, atribuindo o peso 0,7 para a hidrografia, e 0,3 para a declividade.

### 5.5.2 Produto final

O resultado obtido através da matriz de confusão (**Tabela 15**) entre as áreas classificadas como muito alto potencial de ocupação para a Floresta Ombrófila Mista indicou um acerto de 65,80%, levando-se em conta apenas o erro de omissão, que representa o interesse final: um indicativo que gere uma boa certeza em relação à atual situação florestal observada. Portanto, o resultado da exatidão global ou da acurácia do usuário não servem como parâmetro de análise da precisão do mapa de potencialidades, no caso do presente estudo.

Na mesma Região do presente estudo (Planalto Meridional – RS), MATTE (2009) analisou o padrão de distribuição de manchas florestais sobre a matriz campestre através de um modelo de regressão múltipla, considerando variáveis topográficas na análise e obteve uma concordância de 64% entre os locais preditos pelo modelo e locais de ocorrência observada. Pelo resultado apresentado por MATTE (2009), considera-se que a expansão da vegetação florestal não ocorre

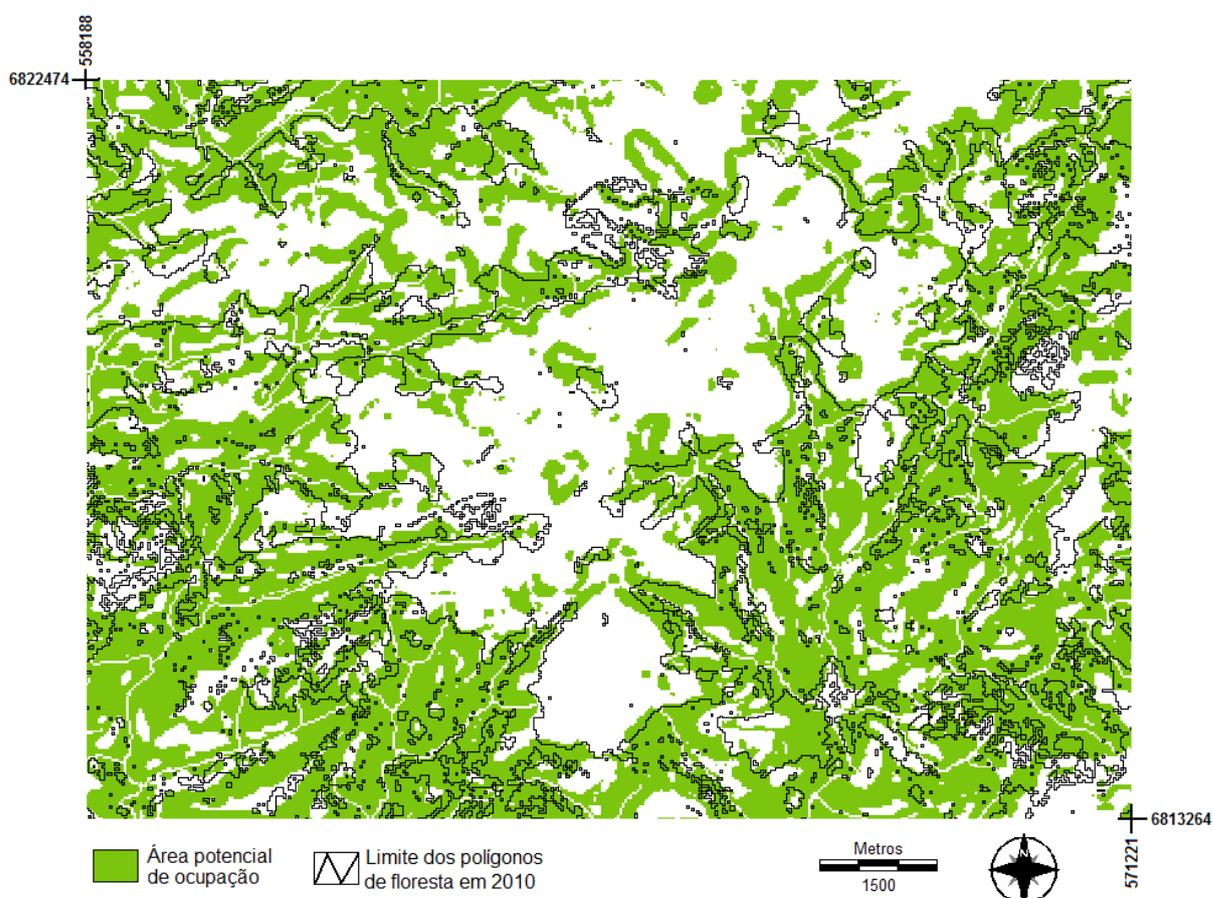
uniformemente na paisagem. Essa hipótese colabora com os resultados obtidos no presente estudo.

O índice Kappa observado (0,44), considerando apenas a variação da classe em questão, indica uma classificação qualificada como boa (LANDIS & KOCH, 1977).

**Tabela 15** - Matriz de confusão obtida a partir do mapa com as áreas projetadas como muito alto potencial de ocupação da floresta nativa e o mapa real da respectiva classe, mapeada em 2010.

Mapa	Verdade terrestre		Total (pixels)
	<i>Não Floresta</i>	<i>Floresta</i>	
<i>Não floresta</i>	5248531	885084	6133615
<i>Floresta</i>	2168541	1702718	3871259
<b>Total</b>	<b>7417072</b>	<b>2587802</b>	<b>10004874</b>
<b>Acerto (%)</b>	-	<b>65,80</b>	-
<b>Kappa</b>	-	<b>0,44</b>	-

A **Figura 38** representa parte da área de estudo que melhor evidencia o resultado final. Na representação, os limites dos polígonos (transformação de *raster* para *vector*), que correspondem à floresta mapeada em 2010, foram sobrepostos à seleção da classe definida como muito alto potencial do mapa simulado. O resultado indica uma boa semelhança entre a forma e distribuição da informação potencial e o dado real, responde pela situação atual da floresta nativa.



**Figura 38** - Mapa parcial do potencial de ocupação da floresta, com a representação das áreas classificadas como muito alto potencial e os polígonos mapeados em 2010, Região Nordeste do RS. Coordenadas UTM, *datum* WGS 84, fuso 22.

A comparação entre as áreas de florestal nativa mapeada em 2010 e o mapa de potencial indicou baixo conflito, refletindo um bom resultado de predição da sua ocupação (**Tabela 16**).

**Tabela 16** - Comparação do conflito entre as classes potenciais de ocupação da floresta nativa e as informações da vegetação mapeada em 2010.

Potencial de ocupação	Área potencial (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Floresta mapeada em 2010 (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Muito alto	3.484,13	40,55	1.532,44	65,80
Alto	4.784,71	55,69	760,93	32,67
Médio	322,52	3,75	35,46	1,52
Baixo	0,78	0,01	0,11	0,00
Muito baixo	0,12	0,00	0,05	0,00
<b>Total</b>	<b>8.592,26</b>	<b>100</b>	<b>2.328,99</b>	<b>100</b>

O arquivo *raster* da hidrografia, importante para a elaboração do mapa de potencialidade, representa uma área aproximada de 412,12 Km<sup>2</sup>, que deve ser somado ao total da área potencial, para que o produto represente o tamanho real da área de estudo.

Em termos percentuais, 98,47% da floresta mapeada em 2010 encontra-se identificada como áreas de alto e muito alto potencial à ocupação arbórea. Os conflitos com as classes definidas como baixo e muito baixo potencial ocorreram de forma concentrada, no limite leste da área de estudo, próximo à região de escarpa da Serra Geral (**Figuras 39 e 40**).

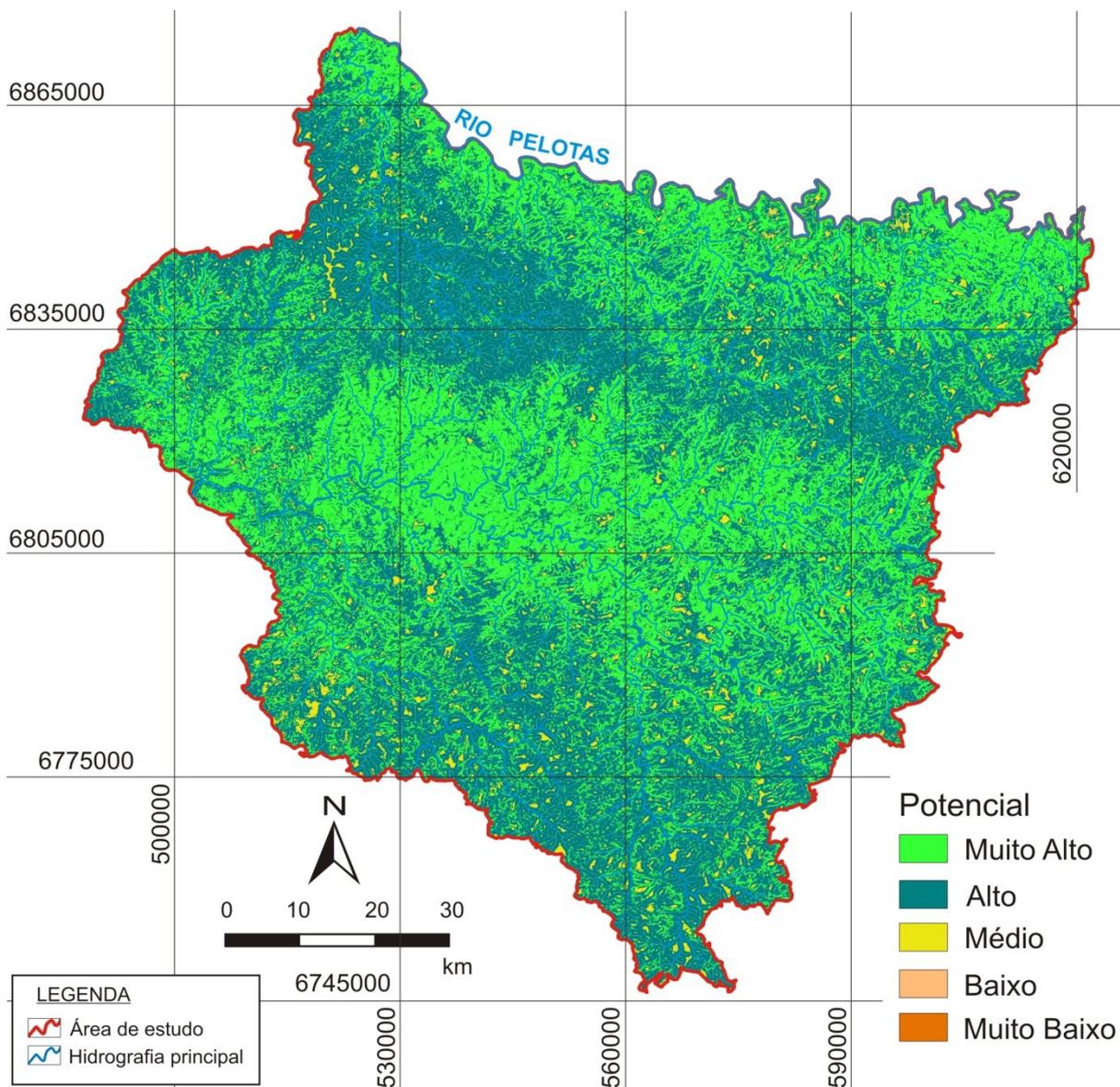
As regiões identificadas como muito alto potencial representam, além do que existe atualmente estruturado como floresta nativa, uma área total de 1.951,69 km<sup>2</sup>. A indicação máxima de potencial florestal refere-se a maior chance de estruturação de uma composição florestal nativa.

Referente à quantificação do mapa potencial, considerando área que representa a hidrografia, 91,83% da área de estudo apresenta regiões indicadas como alto e muito alto potencial de ocupação florestal.

Em uma análise geral, o mapa final (**Figura 40**), que indica as áreas potenciais à ocupação da floresta nativa, apresenta grandes semelhanças na forma e tamanho de área, se comparado com o resultado da classificação das imagens de satélite em 2010. A boa distribuição da rede de drenagem superficial sobre a área de estudo, num detalhamento de escala 1:50.000, favoreceu a condição de maior potencial à floresta. A classe definida como alto potencial tem maior influência da hidrografia, pois, no mapa real, representa as áreas de vegetação campestre, onde a forma do relevo tende a concentrar as menores declividades. Em áreas próximas à rede de drenagem e com terrenos que possuem um relevo forte ondulado, o mapa potencial indica o mais alto índice de favorabilidade, onde a floresta deveria ocorrer de fato. As classes de baixo e muito baixo potencial florestal ocorrem em eventos pontuais e, em termos quantitativos, com uma área pouco expressiva (**Tabela 16**).

O maior potencial de ocupação da floresta nativa localiza-se na região central da área de estudo e ocorre na Bacia Taquari-Antas, especialmente junto à calha do rio das Antas e seus afluentes diretos. O fato reflete a distribuição atual da Floresta Ombrófila Mista, conforme o mapeamento temático realizado no presente estudo. A

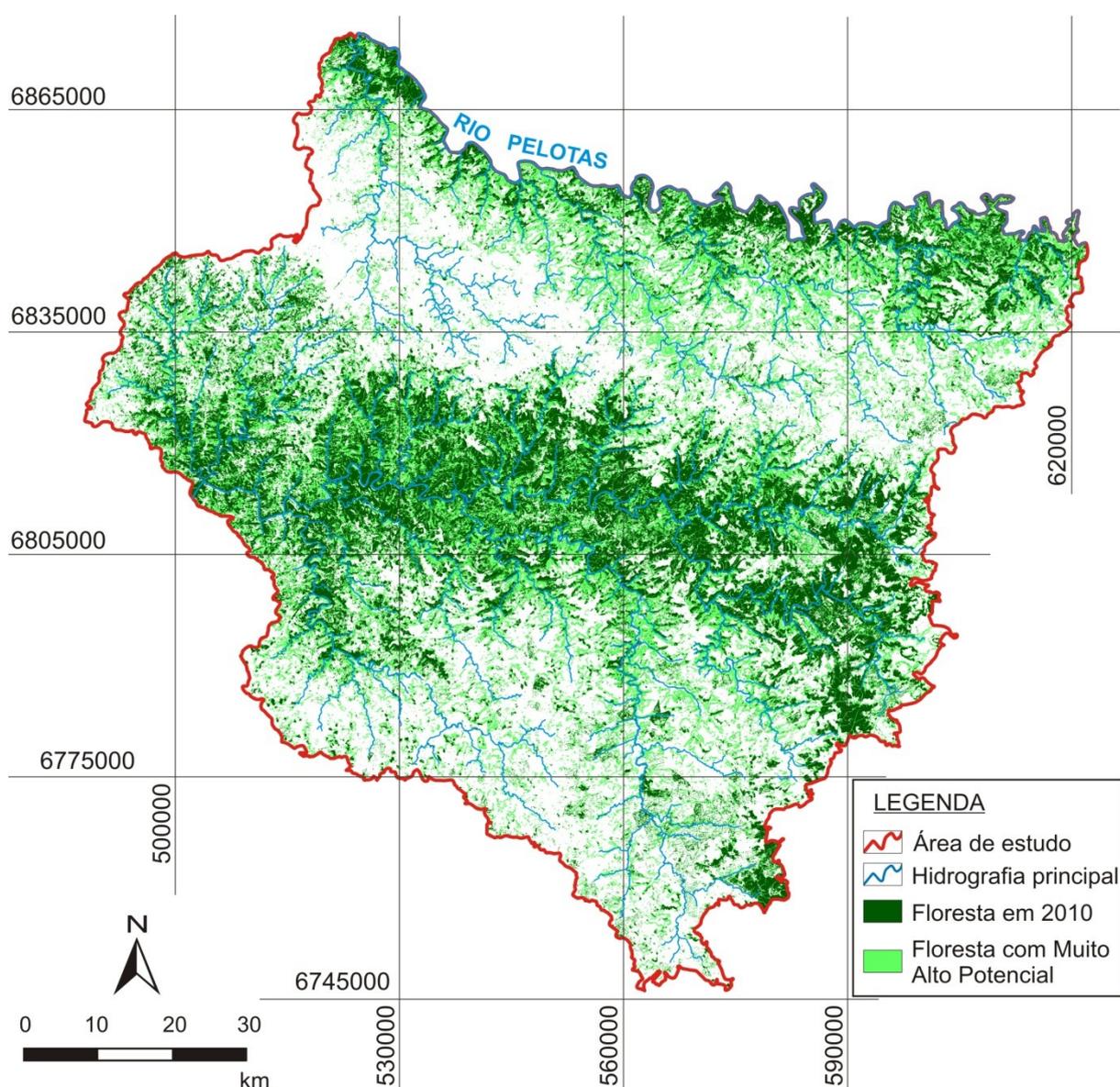
indicação de muito alto potencial à vegetação arbórea é menor na região noroeste da área de estudo, com um grau de potencialidade que varia de médio a alto.



**Figura 39** - Mapa-síntese do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista, gerado a partir da análise multicritério, Região Nordeste do RS.

Considerando a declividade e a hidrografia como fatores condicionantes à ocupação da floresta, é evidente que o mapa potencial superestima a área em comparação com a situação atual (**Figura 40**). Esse resultado ressalta a hipótese de que outras condicionantes ambientais além da topografia poderiam estar associadas à restrição do avanço da floresta, especialmente nas áreas descritas como muito

alto potencial. Ressalta-se que a distribuição atual da floresta nativa não depende apenas de fatores físicos naturais, que não respondem pela interferência humana. Nesse sentido, se os fatores condicionantes fossem mantidos, sejam eles naturais ou antropogênicos, o mapa de potencial florestal gerado poderia agregar informações de grande importância para a melhor conservação da flora e fauna nativa.



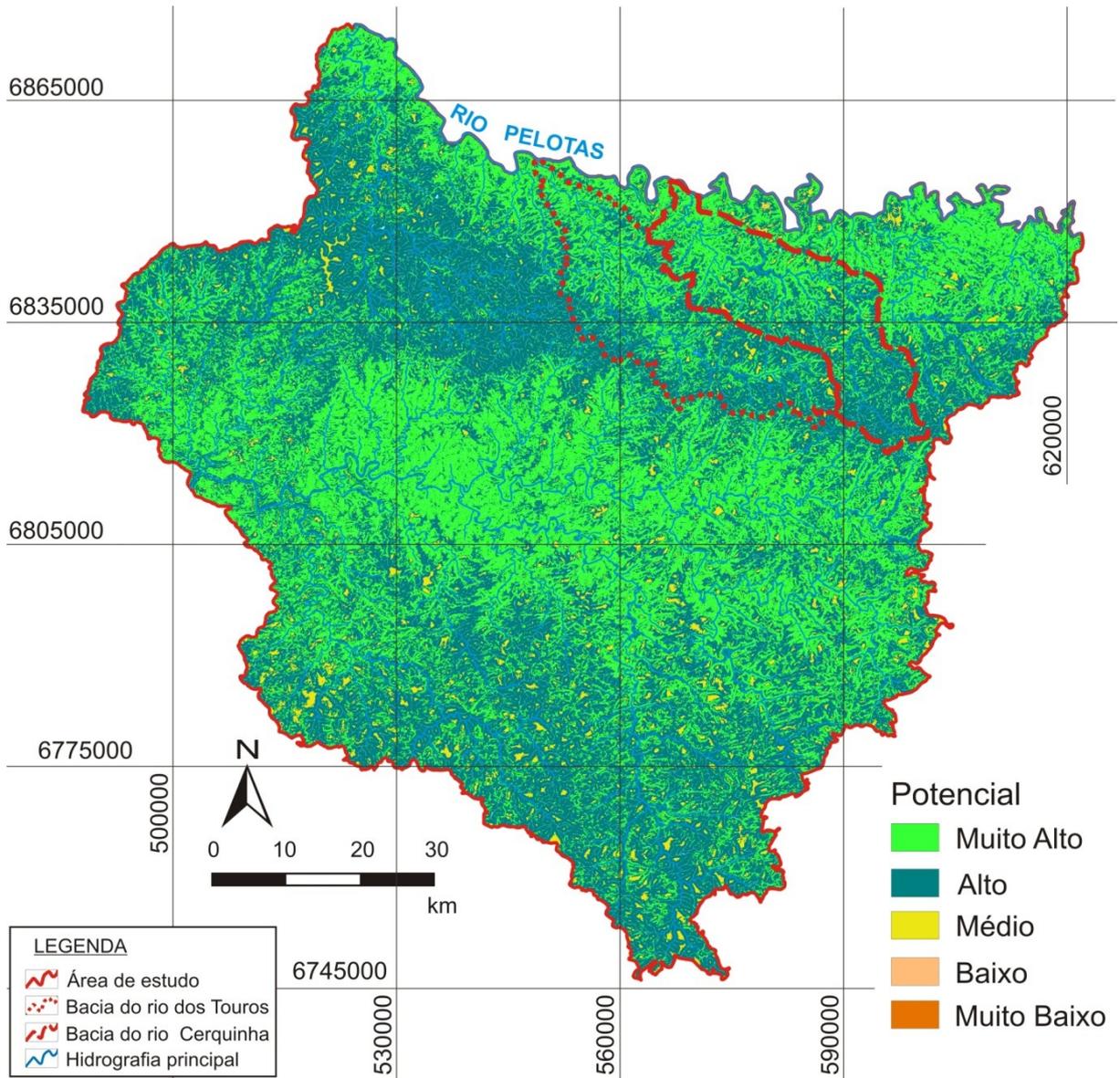
**Figura 40** - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação, Região Nordeste do RS.

Pela análise do mapa da **Figura 40**, as áreas indicadas como muito alto potencial estão, de forma expressiva, próximas às ocupações florestais nativas,

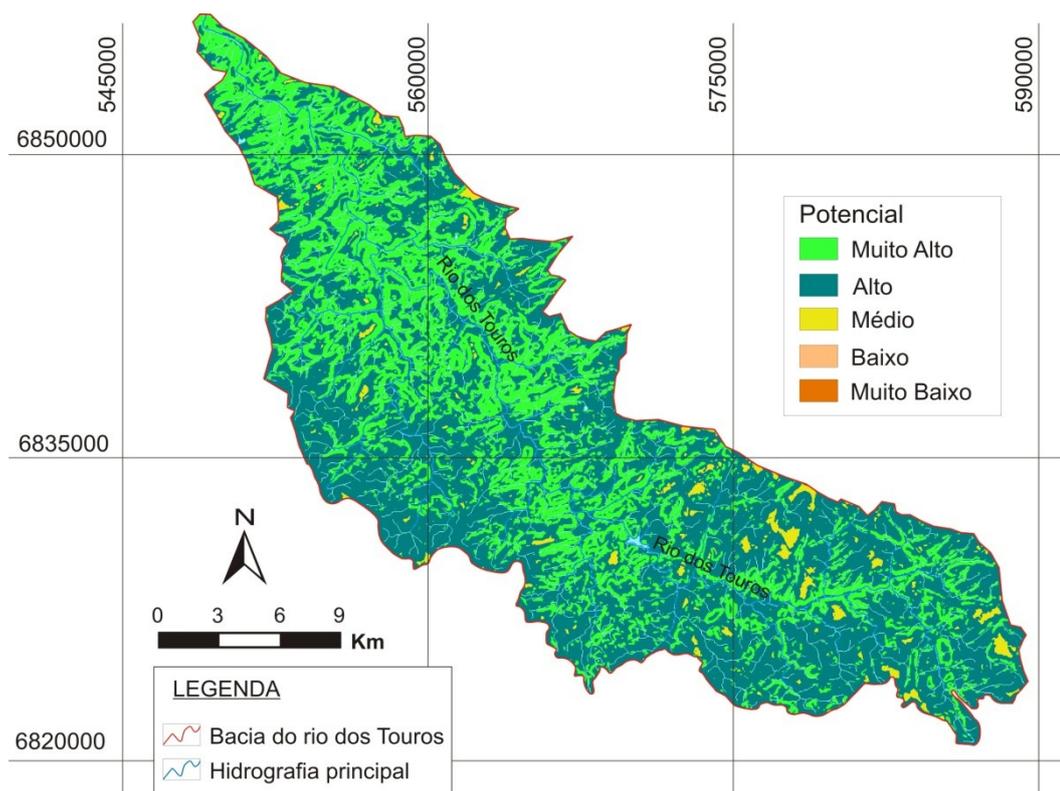
constituindo-se de prolongamentos da floresta mapeados em 2010, tanto nas áreas contínuas como nas manchas. Na parte dos campos nativos, onde a floresta ocorre em proporções reduzidas, as áreas de muito alto potencial seguem o critério condicionado pelo fator declividade. Por isso, as áreas indicativas de muito alto potencial são mais descontínuas e fragmentadas.

A análise final do presente estudo, de acordo com um dos objetivos inicialmente propostos e pelas evidências observadas, envolve a indicação de locais que possam proporcionar um maior potencial ao estabelecimento de novas áreas de Floresta Ombrófila Mista, na Região dos Campos de Cima da Serra (Planalto Meridional do RS). Não considerando a influência de fatores antrópicos, foram evidenciadas duas regiões que teriam um potencial representativo de conectividade florestal sobre a matriz campestre, diminuindo assim as distâncias entre as maiores áreas florestais nativas, que envolvem as bacias hidrográficas Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava.

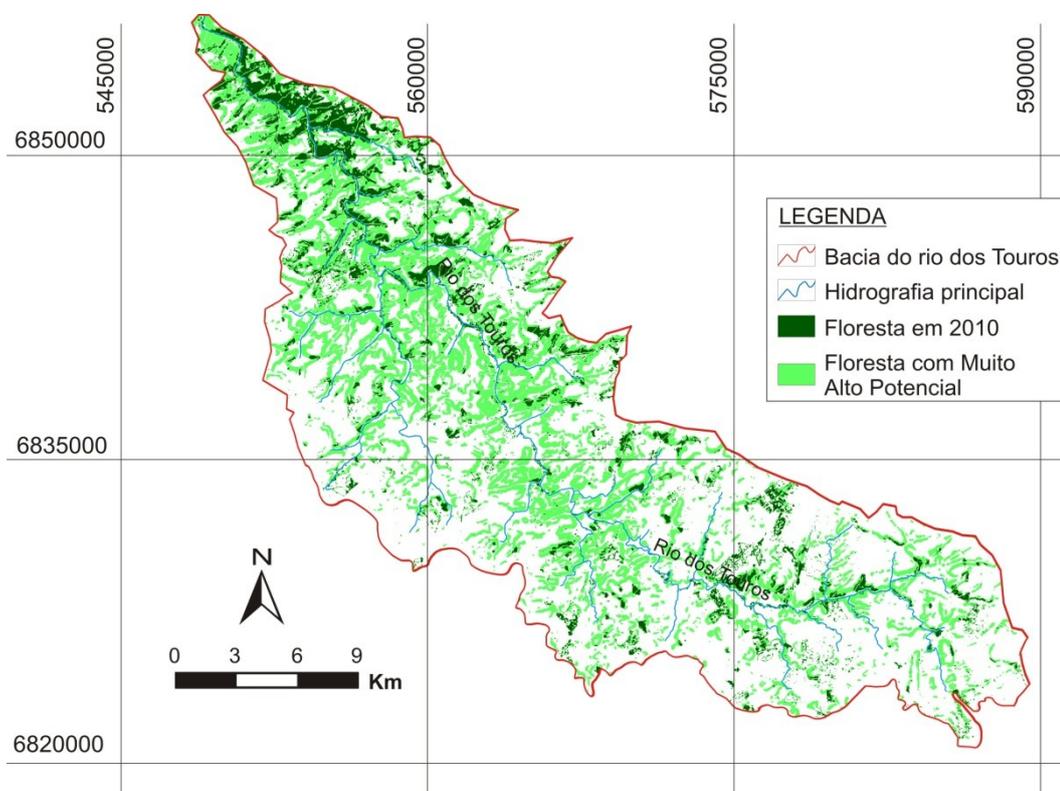
A floresta nativa, visualmente, é mais expressiva na bacia Taquari-Antas, em comparação com a bacia Apuaê-Inhandava. Nessas condições de ocupação, foram evidenciadas duas sub-bacias hidrográficas, representadas pelos rios Cerquinha e Touros (**Figura 41**), que se localizam na região norte da área de estudo e são afluentes do Rio Pelotas. Essas duas regiões seriam as mais indicadas para a formação de novas áreas de floresta nativa que poderiam favorecer a maior aproximação entre as florestas das bacias hidrográficas Apuaê-Inhandava e Taquari-Antas. Conforme o mapa do potencial florestal nativo, as referidas sub-bacias apresentam a maior concentração de áreas indicadas como muito alto potencial. Comparando as duas sub-bacias, a maior conectividade das mesmas com os afluentes do rio das Antas seria pela região que compreende o rio dos Touros (**Figuras 42 e 43**). A sub-bacia do rio Cerquinha (**Figuras 44 e 45**) representaria um reforço nas áreas de floresta nativa, que poderia se conectar com as adjacências arbóreas da sub-bacia Touros.



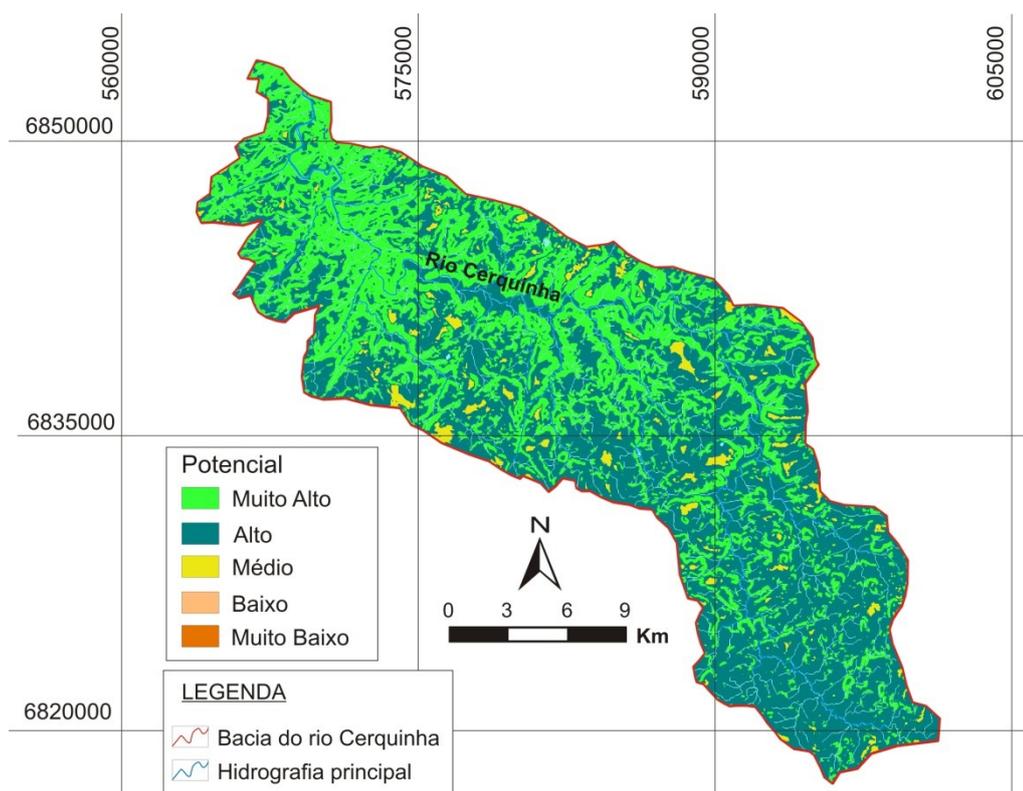
**Figura 41** - Mapa-síntese do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista com a localização das sub-bacias hidrográficas com maior potencial florestal de ligação entre as bacias hidrográficas Taquari-Antas e Apuaê-Inhandava, Região Nordeste do RS.



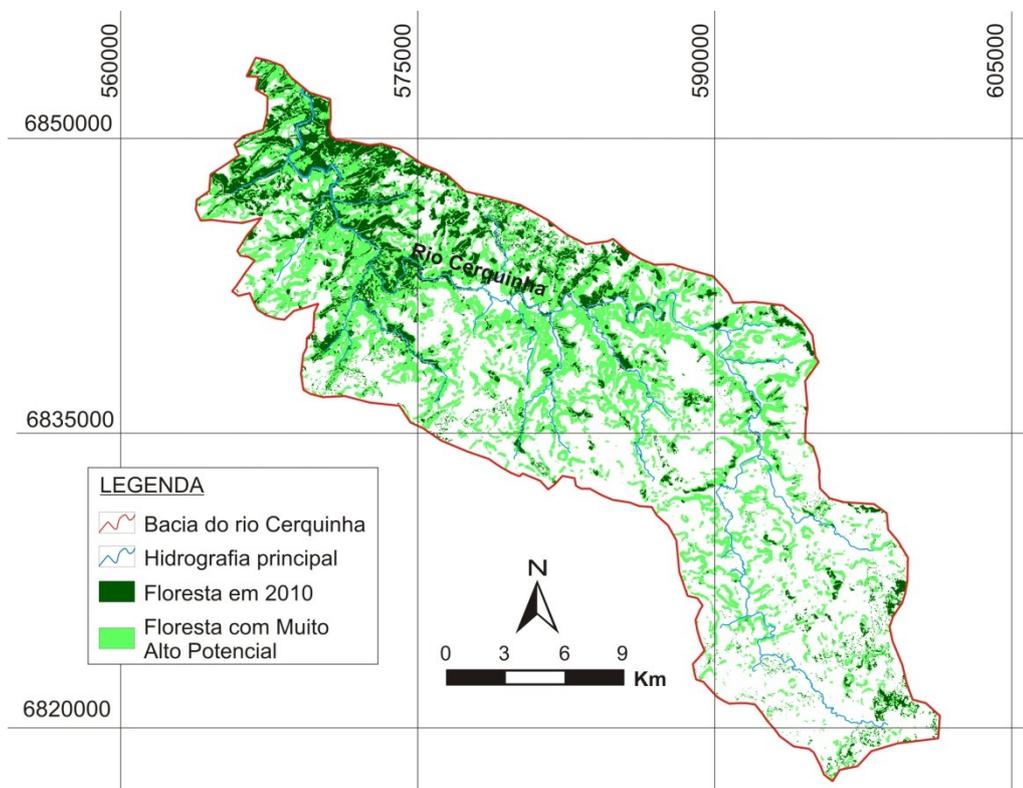
**Figura 42** – Mapa do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na bacia hidrográfica do rio dos Touros, Região Nordeste do RS.



**Figura 43** - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação na bacia hidrográfica do rio dos Touros, Região Nordeste do RS.



**Figura 44** - Mapa do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista na bacia hidrográfica do rio Cerquinha, Região Nordeste do RS.



**Figura 45** - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação na bacia hidrográfica do rio Cerquinha, Região Nordeste do RS.

A quantificação da análise é apresentada na **Tabela 17**. Os valores são indicados por sub-bacia e não representam sobreposição de informações. Cabe destacar que as duas bacias foram delimitadas de forma grosseira, a partir da rede de drenagem que representa a base vetorial hidrográfica (base 1:50.000). A precisão quanto ao tamanho real da área não foi considerada relevante para a análise em questão.

**Tabela 17** - Análise quantitativa das sub-bacias hidrográficas de reconhecida importância para a indicação de áreas potenciais à ocupação da floresta nativa.

<b>Sub-Bacia Hidrográfica</b>	<b>Floresta mapeada em 2010</b>	<b>Área de Muito Alto Potencial</b>	<b>Área de Alto Potencial</b>	<b>Área de Médio Potencial</b>	<b>Total (km<sup>2</sup>)*</b>
Rio Cerquinha	61,49	136,65	256,66	14,08	454,80
Rio dos Touros	47,87	151,56	301,55	11,37	500,98
<b>Total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>109,36</b>	<b>288,21</b>	<b>558,21</b>	<b>25,45</b>	<b>955,78</b>
<b>Total (%)</b>	<b>11,15</b>	<b>29,37</b>	<b>56,89</b>	<b>2,59</b>	<b>100</b>

\* A área que representa a hidrografia foi descontada na análise.

Somadas, as duas sub-bacias representam, aproximadamente, 10% do total da área de estudo. Pelo cenário de ocupação mapeado em 2010, nessas regiões a floresta nativa ocupa uma área de 109,36 km<sup>2</sup>, que representa apenas 11,15% do total de área dessas bacias. Se sobreposta essa floresta nativa real com o mapa potencial, nas referidas regiões, as áreas que foram qualificadas como muito alto potencial representam: 68,78% da floresta real para a bacia do rio Cerquinha; e 60,64% da floresta real para a bacia do rio dos Touros. O percentual restante de floresta mapeada corresponde à classe alto potencial de ocupação.

Nas duas bacias citadas, conforme o mapa indicativo do potencial florestal, as áreas com maiores chances de ocupação da floresta nativa, que correspondem à classe muito alto potencial, representariam uma área adicional de 288,21 km<sup>2</sup>. Por fim, mais de 80% da área dessas sub-bacias possuem um indicativo de alto a muito alto potencial. Por serem expressivas, essas áreas potenciais representam as menores chances de erro, considerando a suposição apresentada e as evidências obtidas pela relação da floresta com as variáveis geomorfométricas.

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho consistiu na avaliação das condições em que a vegetação arbórea nativa, que ocorre na Região Nordeste do Rio Grande do Sul, se estrutura atualmente através da análise das variáveis geomorfométricas, observando também o seu padrão de ocupação ao longo do tempo. Foi utilizado um intervalo de 23 anos para a análise temporal dos dados e não foram consideradas questões antrópicas envolvidas nas modificações de forma e posição da floresta no ambiente. A partir desse diagnóstico, foram indicadas regiões, inclusive sobre os campos, com características de terreno semelhantes à ocupação da floresta nativa. Pretendeu-se mapear os locais com maior favorabilidade ao processo natural de desenvolvimento da vegetação arbórea nativa, com a indicação de áreas potenciais à sua ocupação. A partir do conhecimento dessas áreas, pode-se então gerenciar e direcionar os processos de preservação ambiental de forma mais objetiva.

O emprego da estatística como suporte à tomada de decisão proporcionou um grau de confiança maior aos resultados do trabalho. Para que isso ocorra de forma segura, é preciso um controle do operador sobre os processos. O controle vai depender do conhecimento específico do analista, condicionando, nesse sentido, as etapas do processamento automático dos dados: evidências geradas a partir de resultados numéricos; ou através da análise geral, com o auxílio de dados preliminares (indicativos).

O mapeamento temático da Floresta Ombrófila Mista apresentou um resultado satisfatório com a utilização da classificação supervisionada pelo algoritmo de *Máxima Verossimilhança*.

A utilização de imagens de melhor resolução espacial poderia evidenciar alterações mais sutis na forma e tamanho da floresta nativa, bem como melhor diferenciar as zonas de contato com outras classes de uso do solo, especialmente a silvicultura de espécies exóticas.

Novos resultados poderão ser obtidos a partir da análise das mudanças da forma da vegetação ao longo do tempo, com técnicas de detecção de mudanças,

separando assim as áreas de regeneração florestal, que podem demonstrar um padrão diferente de preferências quanto a sua ocupação no relevo.

O mapa final, com a indicação das áreas potenciais à ocupação da Floresta Ombrófila Mista sobre a Região dos Campos de Cima da Serra, que foi fundamentado com o auxílio de variáveis geomorfométricas, foi considerado satisfatório (acurácia de 65,80%; kappa = 0,44) e atendeu às premissas inicialmente propostas no presente estudo. Mesmo assim, uma observação do padrão de ocupação da floresta em um maior espaço de tempo poderia gerar indicativos mais confiáveis sobre as potencialidades (favorabilidade) em relação a preferências da floresta nativa.

Não foram utilizados na presente análise fatores antrópicos como estradas e áreas urbanizadas. Se abordados esses critérios de restrição, considera-se que informações importantes poderiam ser mascaradas quanto ao potencial natural de ocupação da floresta, baseado nas variáveis declividade e distância da hidrografia. As regiões indicadas como potenciais à composição arbórea na matriz campestre apresentam áreas reduzidas e isso se torna uma condição relevante quando a restrição é justificada por causas antropogênicas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grassland during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 177, 2002. p. 19-27.

BEHLING, H. & PILLAR, V.D. Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2007. 362: 243-251.

BEHLING, H.; PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; OVERBECK, G.E. Late-Holocene fire history in a forest-grassland mosaic in southern Brasil: implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 10:81-90. 2007.

BEHLING, H.; PILLAR, V.; ORLÓCI, L. & BAUERMANN, S.G. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. 203: 277-297.

BENZ, U. Supervised fuzzy analysis of single and multichannel SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 37, n. 2, 1999. p. 1023-1037

BISPO, P. C. **Dados geomorfométricos como subsídio ao mapeamento da vegetação**. 2007-03-19. 128 p. (INPE-14813-TDI/1255). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

BOLDRINI, I. I. **Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias**. Brasília: MMA, 2009. 240 p.

\_\_\_\_\_. **Campos sulinos: caracterização e biodiversidade**. p. 95-97. In: Araújo, E.L.; Noura, A.N.; Sampaio, E.V.S.B.; Gestinari, L.M.S. & Carneiro J.M.T. (eds.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2002.

\_\_\_\_\_. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências/UFRGS**. v. 56, 1997. p.1-33.

BOND-BUCKUP, G.; BUCKUP, L. & DREIER, C. **Biodiversidade dos Campos de Cima da Serra**. Porto Alegre: Libretos, 2010. 196p.

BRASIL. Lei Federal Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, **Diário Oficial da União**. n. 246. Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de dez. 2006.

BRASIL. Decreto Federal Nº. 750, de 10 de fevereiro de 1993, **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 de dez. 1997.

BRUZZONE, L.; COSSU, R.; VERNAZZA, G. Detection of land-cover transitions by combining multivariate classifiers. *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, no. 13, 2004. pp. 1491-1500.

CERQUEIRA, R., BRANT, A., NASCIMENTO, M.T. & PARDINI, R. Fragmentação: alguns conceitos. Pág. 23-40. In: Rambaldi & Oliveira org., 2003 Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003. 510p.

COBLENTZ, D. & KEATING, P.L. Topographic controls on the distribution of tree island in the high Andes of south-western Ecuador. *Journal of Biogeography*, 35:2026-2038, 2008.

CONGALTON, R.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Boca Raton, Florida: CRC/Lewis Press, 1999. 137 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

DÁRIO, F. R. **Influência de corredor florestal entre fragmentos da Mata Atlântica utilizando-se a avifauna como indicador ecológico**. Piracicaba. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999.

D'ALGE, J. C. L. **Geoprocessamento** - Teoria e Aplicações - Parte I - Cap. 6 - Cartografia para Geoprocessamento. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/)>. Acesso em: 15 nov. 2010.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v.80, p. 45-55, 1990.

DUARTE, L.S., DOS SANTOS, M.M.G., HARTZ, S.M. & PILLAR, V.D. The role of nurse plants on Araucaria Forest expansion over grassland in south Brazil. **Aust. Ecol.** 31: 520-528. 2006.

EASTMAN, J.R. Idrisi for Windows. **Tutorial Exercises**. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. 1997.

\_\_\_\_\_. IDRISI Manual. **IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing**. Manual Version 15.00. Clark University, 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

- FÁVERO, O. A., NUCCI, J. C., & BIASI, M. D. Vegetação Natural Potencial e Mapeamento da Vegetação e Usos Atuais das Terras da Floresta Nacional de Ipanema, Iperó/SP: conservação e gestão ambiental. **RA´E GA**, UFPR: Curitiba, n. 8, p. 55-68, 2004.
- FLORINSKY, I.V.; KURYAKOVA, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, v. 27, n.2, p. 123-141, Aug. 1996.
- FREITAS, S. R.; CRUZ, C. B. M. Índices de Vegetação na Caracterização de Fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Belo Horizonte, INPE, 5-10 abril, 2003.
- FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics - the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 632 p. 1995.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 619 p. 1986.
- GAMBA, C. T C. & LUCHIARI A. Avaliação da exatidão de mapeamentos de uso e da cobertura da terra obtidos a partir de classificadores baseados na concepção Fuzzy. **In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE: Goiânia, 16-21 abril 2005, p. 4073-4080.
- GANDOLFI, S. **História natural de uma floresta semidecidual no município de Campinas (SP - Brasil)**. 2000. 520p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1): 11-20, 1965.
- GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). **Landsat GeoCover**. Maryland, 2010. Catálogo. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso em: 13 set. 2010.
- Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/SEMA, DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS/ DRH. 2002. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no estado do Rio Grande do Sul**. 344 p.
- GUSTAFSON, J. E. Quantifying landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? *Ecosystems*, 1: 143-156, 1998.
- HASENACK, H. & WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).
- HOBBS, R. Future landscape and the future of landscape ecology. **Landscape and Urban Planning**. v.37, n.1-2, 1997. p. 1-9, June.

HORBACH, R.; KUCK, L.; MARIMON, R.G.; MOREIRA, H.L., FUCK, G.F.; MOREIRA, M.L.O.; MARIMON, M.P.C.; PIRES, J. De L.; VIVIAN, O.; MARINHO, D. De A. & TEIXEIRA, W. Geologia. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais. Vol. 33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 1, Rio de Janeiro, 1986. 796p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapas de Distribuição da Vegetação do Brasil e Mapa de Biomas**. IBGE, Serviço de Cartografia, 2004.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

\_\_\_\_\_. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte da folha SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1986. 791p. (Projeto RadamBrasil, v. 33).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo Landsat TM**. São José dos Campos, 2010. Catálogo. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: set. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 2005 a 2008. Disponível em: <[http://mapas.sosma.org.br/site\\_media/ATLAS%20MATA%20ATLANTICA%20-%20RELATORIO2005-2008.pdf](http://mapas.sosma.org.br/site_media/ATLAS%20MATA%20ATLANTICA%20-%20RELATORIO2005-2008.pdf)>. Acesso em: 09.dez.2009.

\_\_\_\_\_. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 2008 a 2010. Disponível em: <[http://www.frenteambientalista.org/downloads/atlas\\_relatorio2008\\_2010parcial.pdf](http://www.frenteambientalista.org/downloads/atlas_relatorio2008_2010parcial.pdf)>. Acesso em: out. 2011.

JAIN, A.; R. P. W. DUIN, J. MAO. *Statistical Pattern Recognition: a review*. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol.22, nº1, 2000. pp. 4-37.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**: a remote sensing perspective. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 1996.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

JESUS, S.C.; MIURA, A.K. Análise espacial de fragmentos de Cerrado como subsídio para a seleção de áreas prioritárias para conservação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3943-3950.

JOHNSON, R. A. & D. W. WICHERN. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Prentice-Hall, 4. ed. 1998.

KAISER, J. & ZOTZ, W. 2006. **Aventura no caminho dos tropeiros**. Florianópolis. Letras Brasileiras. 164 p.: il.

KIRKBY, M.; ATKINSON, K.; LOCKWOOD, J. G. Aspect vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes. *In*: THOMES, J. (ed.). *Vegetation and Geomorphology*. Local: John Wiley: p.25-39, 1990.

KLEIN, R. M. Southern Brazilian phytogeographic features and the probable influence of upper Quaternary climatic changes in the floristic distribution. **Boletim Paranaense de Geociências**. 33: 67-88, 1975.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, p.159-174, 1977.

LANG, S. & BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux, São Paulo, Oficina de Textos. 424 p. 2009.

LANGLEY, S. K.; CHESHIRE, H. M.; HUMES, K. S. A Comparison of Single Date and Multitemporal Satellite Image Classifications in a Semi-Arid Grassland. *Journal of Arid Environments*, v. 49, nº. 2, 2001.

LAUER, W. Ecoclimatological conditions of the páramo belt in the tropical high mountains. *Mountain Research and Development*, 1: 209-221, 1981.

LEPSCH, I. F., BELINAZZI JR., R., BERTOLINI, D., ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4.a. aproximação. Campinas: SBCC, 1991. 175p.

MAIA, R. M. **Identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade na Microrregião Geográfica de Erechim, RS**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de São Carlos, 2008. 57f.

MALILA, W. A. Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. *Proceedings of the LARS Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*, pp. 326-336, 1980.

MARQUES, J. Q. A. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação**. Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos (ETA), 1971. 433p.

MARTINS, A. K. E.; NETO, A. S.; MARTINS, I. C. M.; BRITES, R. S.; SOARES, V. P. Uso de um sistema de informações geográficas para indicação de corredores ecológicos no município de Viçosa - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.3, p.373-380, 1998.

MATTE, A. L. L. **Padrões de distribuição, estrutura e contexto de manchas florestais em um mosaico de campo e floresta no Planalto Sul Brasileiro**. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2009.

METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. **Ponto de Vista - Natureza & Conservação**. vol. 4. nº2. Outubro, 2006. pp.11-23.

\_\_\_\_\_. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: análise bibliográfica. **Anual da Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3-I, 1999. p. 445-463.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Proposta de Unidade de Conservação de Proteção Integral, na categoria de Refúgio de Vida Silvestre, formando Corredor Ecológico, no Rio Pelotas e nos Campos de Cima da Serra, Sul do Brasil: **relatório técnico**. Brasília: Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Áreas Protegidas, Núcleo dos Biomas Mata Atlântica e Pampa, 2007.

\_\_\_\_\_. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. / Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 2007b.

\_\_\_\_\_. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p.

\_\_\_\_\_. **Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica**: Brasil. Brasília, 1998. 283p.

Ministério do Meio Ambiente / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – MMA/IBAMA. **Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite**. Monitoramento do Bioma Mata Atlântica 2002 a 2008. MMA: Brasília, 2010. Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/RELATORIO\\_PMDBBS\\_MATA\\_ATLANTICA\\_2002-2008.pdf](http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/RELATORIO_PMDBBS_MATA_ATLANTICA_2002-2008.pdf)>. Acesso em: out. 2011.

MIRANDA, J. I., **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. EMBRAPA: Brasília, 2005. 425p.

MÜLLER, S.C. **Padrões de espécies e tipos funcionais de plantas lenhosas em bordas de floresta e campo sob influência do fogo**. 150 f. (Tese de Doutorado) - Departamento de Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2005.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento Remoto**. Princípios e Aplicações. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1993.

OLIVEIRA, J.M. & PILLAR V.D. Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil. **Comm. Ecol.** 5: 197-202. 2004.

PACHECO, J. F.; BAUER, C. **Workshop Floresta Atlântica e Campos Sulinos**. Biogeografia e conservação da avifauna na Mata Atlântica e campos sulinos – construção e nível atual do conhecimento. Disponível em: <[http://www.bdt.fat.org.br/workshop/mata.atlantica/BR/rfinais/rt\\_aves](http://www.bdt.fat.org.br/workshop/mata.atlantica/BR/rfinais/rt_aves)>. Acesso em: 21.mar.2002.

PELOSO, B. D. de A. **Classificação da vegetação do Parque Nacional da Serra do Cipó (MG) e sua relação com variáveis morfométricas**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

PILLAR, V. D. Dinâmica de expansão florestal em mosaicos de floresta e campos sul do Brasil. In: CLAUDINO-SALES, V. (Ed.) *Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 209-216.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

PUTZ, F. E.; BLATE, G. M.; REDFORD, K. H.; FIMBEL, R.; ROBINSON, J. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology*, v. 15, n. 1, 2001. p. 7-20, Feb.

RESEARCH SYSTEMS - RSI. **The Environment for Visualizing Images (ENVI)**. Versão 4.2. Boulder, CO, USA: ITT Industries. 2005.

RICHARDS, J. A. & X. JIA. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Springer Verlag, New York, Ed. 3, 1999. 363 p.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer-Verlag, Berlin, 1993. 340 p.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470p.

ROTH, L. & LORSCHREITER, M.L. Palynology of a peat in Parque Nacional de Aparados da Serra, Rio Grande do Sul, Brazil. **Bol. I.G. USP**. v. 8, 1991. p.153-157.

SILVA, P.G. **Deteção de mudanças em áreas de florestas tropicais sob exploração madeireira através da técnica de análise do vetor de mudança**. 122 p. (INPE -11581-TDI/961). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2004.

SIQUEIRA, A. D. **Metodologia de análise de dados cartográficos e de Sensoriamento Remoto para o diagnóstico de preservação da cobertura vegetal em regiões montanhosas**. São José dos Campos – SP. 116p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

SODHI, N. S.; BRIFFETT, C.; KONG, L.; YUEN, B. Bird use linear areas of a tropical city: implications for park connector design and management. *Landscape and Urban Planning*, v. 45, n. 2-3, 1999, p. 123-130, Oct.

SWAIN P. H.; DAVIS, S. M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. 396 p.

SZMUCHROWSKI, M.A.; MARTINS, I.C.M. Geoprocessamento para a indicação de corredores ecológicos interligando os fragmentos de florestas e áreas de proteção ambiental no município de Palmas – TO. **In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 10., 2001. Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2001. p. 675-681.

TAMANINI, E.; GRÜN, M. & PEIXER, Z.I. Desertos verdes e azuis: grandes empreendimentos (UHE e Pinus) e as práticas de resistência da sociedade civil na Serra Catarinense. **Anais do II Seminário Nacional Movimentos Sociais, Participação e Democracia**. 25 a 27 de abril de 2007, UFSC, Florianópolis, Brasil. 2007. 18 p. ISSN 1982-4602.

TAVARES JUNIOR, J. B.; SANTOS, D. R.; HAYAKAWA, E. H.; PRADO, B. R.; MARTINS, V. A.; ANTUNES, M. A. H. Avaliação dos dados GeoCover a partir de dados de campo coletados com receptores GPS. 2009. **In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, 2009. p. 1889-1896.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. 2009. **In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal: INPE, 2009. p. 5499-5506.

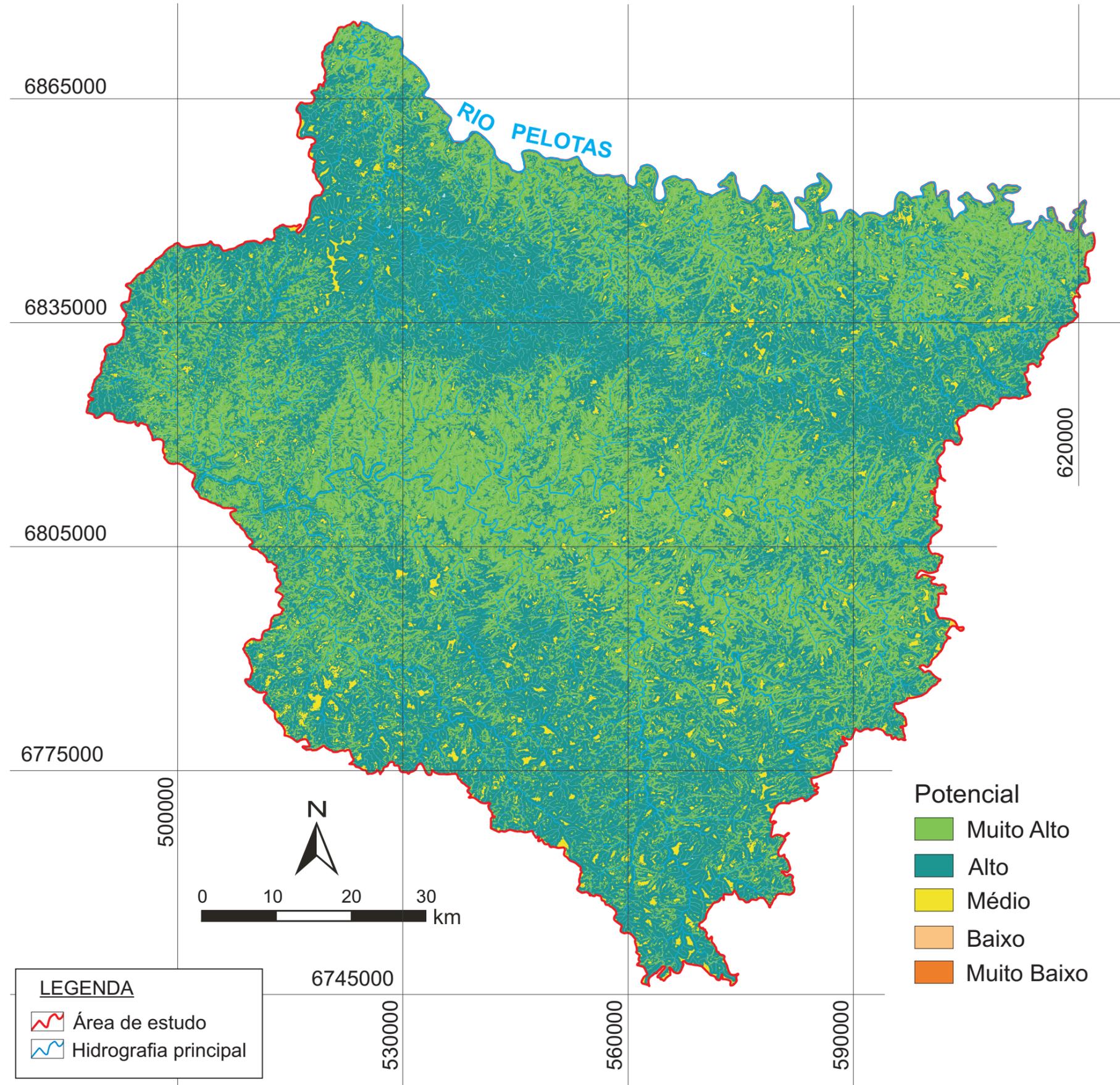
VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 44p. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/guia\\_enx.pdf](http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2010.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Southern Mexico. *Biotropica*, v. 34, n. 4. 2002. p. 534-546.

VIANA, V.M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensamente cultivadas. **In: Abordagens interdisciplinares para a Conservação da Biodiversidade e Dinâmica do Uso da Terra no Novo Mundo**. Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, 1995. p. 135-154.

WILCOVE, D. S. Protecting biodiversity in multiple-use lands: lessons from the US forest service. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 4, n. 1, 1989. p. 385-388.

ANEXO 1 - Mapa-síntese do potencial de ocupação da Floresta Ombrófila Mista, gerado a partir da análise multicritério, Região Nordeste do RS



ANEXO 2 - Mapa com a sobreposição da Floresta Ombrófila Mista em áreas identificadas como muito alto potencial de ocupação, Região Nordeste do RS

