

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EVERTON GUEDES**

**LEVANTAMENTO DE TAXONS GEOMORFOLÓGICOS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO E SIG: REGIÃO CENTRO NORTE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

**Caçapava do Sul**

**2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EVERTON GUEDES**

**LEVANTAMENTO DE TAXONS GEOMORFOLÓGICOS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO E SIG: REGIÃO CENTRO NORTE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen

Coorientador: Geól. Maciel Jorge de Souza

**Caçapava do Sul**

**2020**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

G931 Guedes, Everton  
Levantamento de táxons geomorfológicos através de  
sensoriamento remoto e Sig: região centro norte do escudo sul-  
rio-grandense / Everton Guedes.  
93 p.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2020.  
"Orientação: Marco Antonio Fontoura Hansen".  
  
1. Geomorfologia. 2. Taxonomia. 3. Caçapava do Sul . 4.  
Bacia do Camaquã. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO  
FEDERAL MINISTÉRIO  
DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal do Pampa

**EVERTON GUEDES**

**LEVANTAMENTO DE TAXONS GEOMORFOLÓGICOS ATRAVÉS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO E SIG: REGIÃO CENTRO NORTE DO ESCUDO SUL-RIO-  
GRANDENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

08 de dezembro e 2020.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen

Orientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber  
UFRGS

---

Prof. Dr. José Pedro Rebés Lima  
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MARCO ANTONIO FONTOURA HANSEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/12/2020, às 11:50, conforme horário oficial de Brasília, de

acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSE PEDRO REBES LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2020, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **NELSON LUIZ SAMBAQUI GRUBER, Usuário Externo**, em 07/01/2021, às 19:13, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](#), informando o código verificador

**0431874** e o código CRC **80EAF6B**.

---

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

## **AGRADECIMIENTO**

## RESUMO

O presente trabalho descreve um levantamento de táxons geomorfológicos realizado na Folha de Caçapava do Sul - RS, por meio de geotecnologia envolvendo Modelos Digitais de Elevação, imagens de satélites e Sistema de Informações Geográficas. Tendo como principal objetivo identificar, analisar e classificar as formas geomorfológicas alcançando o 4º nível taxonômico (escala 1:100.000). Através de diversas análises, principalmente, geológicas e morfométricas utilizando-se de técnicas de geoprocessamento, foram identificadas e descritas sete morfoesculturas: Planalto Sedimentar Residual, Planalto Sedimentar Rebaixado, Planalto Cristalino Residual, Planalto Cristalino Rebaixado, Serra de Santana, Planícies Alúvio-coluvionares e Depressão Arroio Moirão. Elas foram agrupadas em quatro domínios geomorfológicos, são eles; Escudo Sul-Rio-Grandense, Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná e Depósitos Sedimentares. Em cada morfoescultura foram cartografados os modelados e discutidas suas características. A região apresenta uma superfície suavemente à fortemente ondulada com elevação variando entre sessenta e sete metros e quatrocentos e oitenta e um metros, sendo que apenas vinte por cento da área possui altitude superior a duzentos e setenta e cinco metros. O aspecto do relevo compreende modelados de dissecação e acumulação sendo o primeiro correspondente a mais de oitenta por cento de toda a área. Ambos desenvolvidos sobre rochas de idades Paleoproterozóica a Triássica. A diversidade geológica da área se revela através da paisagem fortemente trabalhada por agentes erosivos, formando uma ampla área desgastada composta por colinas e morros com diferentes tipos de modelados de dissecação, principalmente a do tipo homogênea com topos predominantemente convexos. Cerca de oitenta por cento da área dissecada é representada por altos índices de dissecação que variam entre trinta e três e cinquenta e quatro com predomínio do índice quarenta e quatro seguido por trinta e três, o que caracteriza médio a forte entalhamento dos vales e uma média a alta densidade de drenagem.

Palavras-chave: Geomorfologia. Taxonomia. Caçapava do Sul. Bacia do Camaquã.

## ABSTRACT

The present work describes a survey of geomorphological taxa carried out in Folha de Caçapava do Sul - RS State, Brazil, through geotechnology involving digital elevation models, satellite images and Geographic Information System. Having as main objective, to identify, to analyze and to classify the geomorphological forms reaching the 4th taxonomic level (scale 1: 100.000). Through various analyzes, mainly geological and morphometric using geoprocessing techniques, seven morphological sculptures were identified and described: Residual Sedimentary Plateau, Lower Sedimentary Plateau, Residual Plateau, Low Crystalline Plateau, Serra de Santana, Alluvial-colluvial, Plains and Depression Arroio Moirão. They were grouped into four geomorphological domains, they are; Sul-Rio-Grandense Shield, Camaquã Basin, Paraná Basin and Sedimentary Deposit. In each morpho sculpture, the modeled ones were mapped and their characteristics discussed. The region has a gently to heavily undulating surface with elevations ranging from 67 to 481 meters, with only 20% of the area having an altitude of more than 275 meters. The relief aspect comprises models of dissection and accumulation, the first corresponding to more than 80% of the entire area. Both developed on rocks from Paleoproterozoic to Triassic ages. The geological diversity of the area is revealed through the landscape heavily worked by erosive agents, forming a wide worn area composed of hills and hills with different types of dissection patterns, mainly the homogeneous type with predominantly convex tops. About 80% of the dissected area is represented by high dissection rates ranging from 33 to 54 with a predominance of the 44 index followed by 33, which characterizes medium to strong notching of the valleys and an average to high drainage density.

Keywords: Geomorphology. Taxonomy. Caçapava do Sul. Camaquã Basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Articulação e nomenclatura das cartas topográficas que compõem a área de estudo (cor verde).....	16
Figura 2 – Localização, acessos e municípios inclusos na área de estudo. ....	17
Figura 3 – Regiões e Sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.....	19
Figura 4 - Principais rios da área de estudo.....	20
Figura 5 - Mapa da vegetação na área de estudo.....	24
Figura 6 - Perfil esquemático das características nas áreas de Savana no Planalto Sul-Rio-Grandense e Depressão Central Gaúcha; a – Savana Parque; b – Savana Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria; c – Savana Gramíneo-Lenhosa.....	24
Figura 7 - Províncias geológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	25
Figura 8 - Esboço das unidade tectônicas do ESRG. ....	27
Figura 9 - a) localização da Bacia do Camaquã no Estado do Rio Grande do Sul e b) Bacia Camaquã compartimentadas em sub-bacias pelos altos do embasamento. ....	28
Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo.....	29
Figura 11 - Mapa das estruturas presentes na área de estudo.....	36
Figura 12 - Compartimentação geomorfológica do Estado do Rio Grande do Sul com destaque em vermelho para compartimentações geomorfológicas ao qual a área está inserida. ....	41
Figura 13 - Mapa geomorfológico da área de estudo. ....	44
Figura 14 - Formas de relevo em diferentes escalas e suas interações com processos exógenos (externos) e endógenos (internos). ....	47
Figura 15 - Esquema de classificação do relevo de Ross (1992) .....	56
Figura 16 - Sobreposição de camadas de diferentes atributos, a ordem da sobreposição é de acordo com a necessidade do que se pretende analisar. ....	62
Figura 17 - Mapa dos modelados na área de estudo.....	65
Figura 18 - Mapa hipsométrico. ....	67
Figura 19 – Perfis topográficos das unidades geológicas da área de estudo. ....	69
Figura 20 - Declividade da área de estudo .....	70
Figura 21 - Perfis longitudinal e transversais dos arroios Irapuazinho e Irapuá .....	71
Figura 22 - Perfil longitudinal do arroio das Neves e um pequeno segmento do rio Camaquã .....	72
Figura 23 - Domínios morfoestruturais da área de estudo.....	74

Figura 24 - Tamanho relativo dos domínios morfoestruturais identificados na área de estudo .....	75
Figura 25 - Desenvolvimento de vales transversais à Serra das Encantadas por rios persistentes que cortam ortogonalmente o eixo da anticlinal regional. No tempo 1 é estabelecido uma rede de drenagem; no tempo 2, devido erosão do material sedimentar, o arroio das Neves encontra uma camada mais dura, sua persistência incisa um vale nos estratos resistentes mantendo seu padrão, sem desviar-se desta ou sofrer ajuste significativo. ....	86

## TABELAS

Tabela 1 – Informações técnicas dos modelos digitais de elevação (MDE's) utilizados no trabalho. Suas disposições espaciais é mostrada na figura ao lado (direito). .....	59
Tabela 2 – Dados quantitativos dos modelados presentes na área de estudo .....	63
Tabela 3 - Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Escudo Sul-Rio-Grandense. ....	76
Tabela 4 - Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Bacia do Camaquã.....	80
Tabela 5 – Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Bacia do Paraná. ....	82
Tabela 6 – Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Depósitos Sedimentares.....	83

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA</b> .....	15
<b>3</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E ACESSO</b> .....	16
<b>4</b>	<b>ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</b> .....	18
<b>4.1</b>	<b>Clima</b> .....	18
<b>4.2</b>	<b>Hidrografia</b> .....	18
<b>4.3</b>	<b>Solos</b> .....	20
<b>4.4</b>	<b>Vegetação</b> .....	22
<b>5</b>	<b>GEOLOGIA</b> .....	25
<b>5.1</b>	<b>Geologia regional</b> .....	25
<b>5.2</b>	<b>Geologia local</b> .....	28
<b>6</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b> .....	41
<b>7</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	45
<b>7.1</b>	<b>Geomorfologia: aspectos gerais</b> .....	45
<b>7.2</b>	<b>Métodos e técnicas de investigação geomorfológica digital</b> .....	49
<b>7.3</b>	<b>Taxonomia do relevo</b> .....	55
<b>8</b>	<b>MÉTODOS DE TRABALHO</b> .....	58
<b>8.1</b>	<b>Consulta bibliográfica</b> .....	58
<b>8.2</b>	<b>Procedimentos técnico-operacionais</b> .....	58
<b>8.3</b>	<b>Procedimentos no SIG</b> .....	59
<b>8.4</b>	<b>Classificação das formas de relevo</b> .....	61
<b>9</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	63
<b>9.1</b>	<b>Características morfométricas da área de estudo</b> .....	66
<b>9.2</b>	<b>Taxonomia do relevo</b> .....	73
<b>10</b>	<b>DISCUSSÕES DOS RESULTADOS</b> .....	84
<b>10.1</b>	<b>Drenagens</b> .....	85
<b>11</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	87
	<b>REFERÊNCIA</b> .....	89

## 1 INTRODUÇÃO

A geomorfologia é a ciência que tem por objetivo interpretar e compreender as formas do relevo, buscando, com isso, o entendimento dos processos passados e atuais de sua gênese. A sobrevivência dos seres humanos depende fortemente de uma zona muito estreita dentro da crosta terrestre, da água na superfície aos poucos metros de profundidade, do solo agrícola, aos duzentos metros dos quais extraímos as águas subterrâneas potáveis (SMITH, PARON e GRIFFITHS, 2011). O estudo das características da paisagem, portanto, pode ser visto como fundamental para o desenvolvimento seguro, econômico e sustentável do planeta Terra. (GUSTAVSSON, 2006).

No mapeamento geomorfológico, a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a quantidade de dados de sensoriamento remoto digital disponível, ampliam as possibilidades de pesquisa geomorfológica (GUSTAVSSON, 2006) tornando viáveis os estudos prévios de vastas áreas. Como o SIG é uma excelente ferramenta para lidar com grandes quantidades de dados espaciais de forma eficaz, rápida e muito menos onerosa, ele deve oferecer soluções para muitos dos problemas encontrados no desenvolvimento de mapas geomorfológicos regionais e semi-detalhes. À medida que se deseja uma maior acurácia nos trabalhos obtidos a partir de medições indiretas, obviamente, um número maior de verificações em campo se fazem necessárias, pois isso proporciona um maior detalhamento do terreno e uma maior validação dos dados.

Com propósito de descrever espacialmente a paisagem destaca-se o emprego de dados provenientes de modelos digitais de elevação (MDE) e de seus atributos morfométricos. Essa abordagem permite compreender a organização da paisagem e inferir sobre o comportamento de outros parâmetros. Assim, em boa parte dos trabalhos que utilizam técnicas como SIG, Sensoriamento Remoto (SR) e Modelo Digital de Elevação (MDE) pode ser a base (carta base) destes estudos. Quanto às representações temáticas, desenvolvidas sobre uma representação base, muitas são as propostas existentes para a forma de representação do relevo. Predominantemente, as representações são apresentadas na forma gráfica, mas também podem ser puramente descritivas.

Na região de Caçapava do Sul, a questão geomorfológica está intrinsecamente ligada a geodiversidade, ou seja, a grande variedade de ambientes geológicos e geomorfológicos presentes. Essas características têm sido estudadas e avaliadas as condições para implementação de geoparque (SANTOS, 2016; BORBA, 2017). Além do mais, as diferentes

atividades antropogênicas ligadas ao uso da terra para atividades agrícola, urbano e silvicultura (TRINDADE; ROCHA; VOLK, 2018), dentre outras, tem levado a variações bruscas de ciclos biogeoquímicos, de processos hidrológicos e da dinâmica da paisagem.

Diversos estudos geomorfológicos de detalhe tal como os trabalhos de Schirmer; Robaina (2013), Santos 2016, Von-Ahn; Urban; Simon (2017), Rademann; Trentin (2018), Von-Ahn; Simon (2019) tem sido apresentados para região, especialmente para a localidade de Minas do Camaquã. Entretanto, observa-se uma precária integração desses dados com outros estudos em menores escalas. Dada estas considerações iniciais, o presente trabalho tem por objetivo identificar, analisar e classificar as formas geomorfológicas contidas na Folha Caçapava do Sul na escala 1:100.000. E dessa forma contribuir com dados técnicos relevantes que possam auxiliar na integração e em trabalhos geomorfológicos de detalhes ou regionais, iniciativas de geoconservação, como também podem ser usados como ferramentas para estudos de inteligência territorial, dentre outras aplicações.

## 2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objeto estudar o relevo da superfície localizada entre Caçapava do Sul e Santana da Boa Vista, sendo o principal objetivo o ordenamento com auxílio de geotecnologia, dos fatos geomorfológicos de acordo com a classificação espaço-temporal de Ross, 1992.

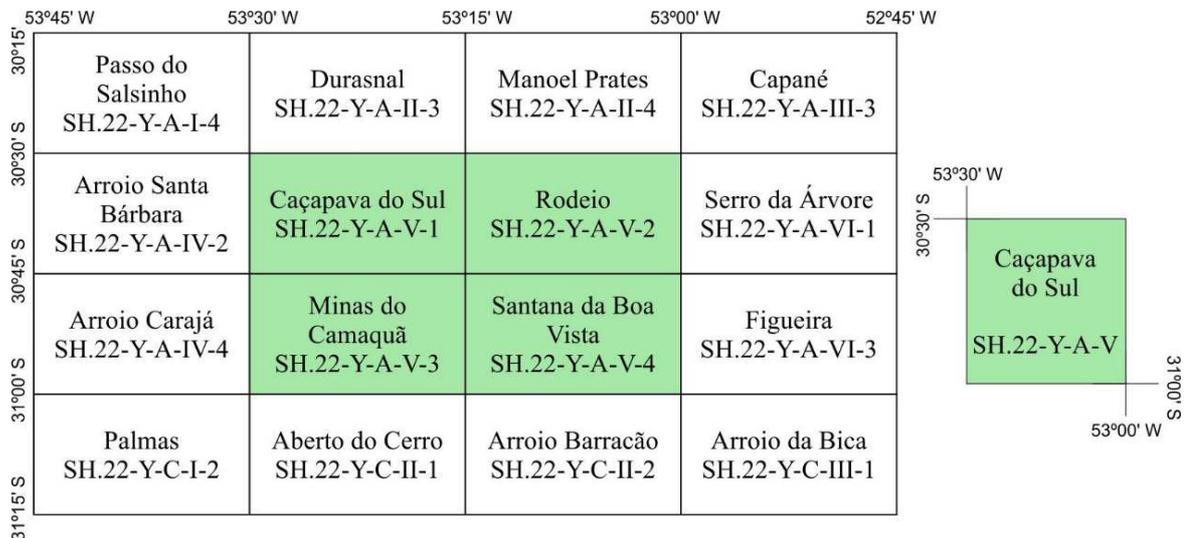
Os objetivos específicos são:

- a) Identificar e descrever as formas de relevo;
- b) Hierarquizar as unidades e subunidades geomorfológicas;
- c) Confeccionar mapa com os modelados geomorfológicos;
- d) Caracterizar a morfometria; e
- e) Relacionar as informações com mapeamentos geomorfológicos anteriores.

### 3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

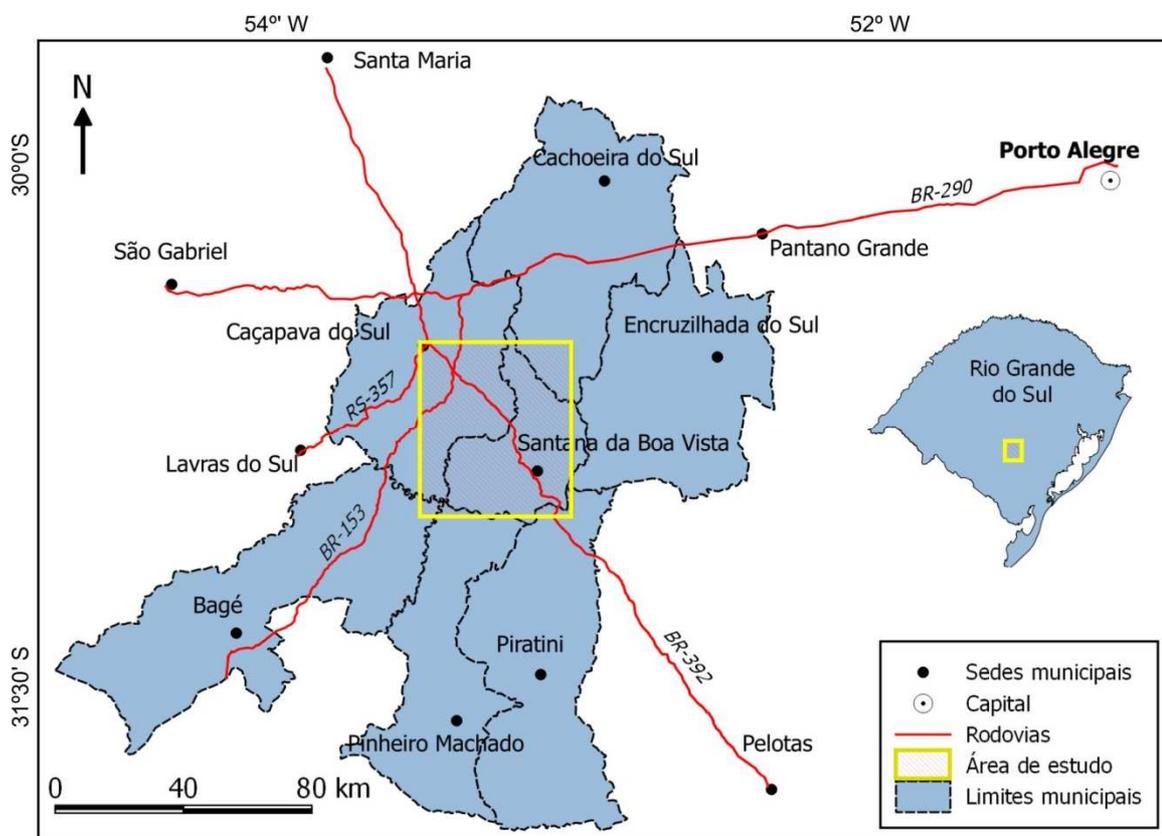
A área de estudo situa-se na porção centro-meridional do estado do Rio Grande do Sul, abrange integralmente a folha de Caçapava do Sul de nomenclatura SH-22-Y-A-V e na escala 1:100.000. Seus limites são os paralelos 30° 30' e 31° 00' de latitude sul e pelos meridianos 53° 30' e 53° 00' de longitude oeste de *Greenwich*. Abrange quatro cartas topográficas na escala 1:50.000, conforme ilustrado na figura 1, ocupando uma área aproximada de 2.700 km<sup>2</sup> na qual estão localizadas as sedes dos municípios de Caçapava do Sul, no extremo noroeste e Santana da Boa Vista à sudeste. Abrange ainda, pequenas áreas dos municípios de Cachoeira do Sul, Encruzilhada do Sul, Piratini, Pinheiro Machado e Bagé, conforme figura 2. O acesso a região é feito pelas seguintes rodovias federais e estaduais asfaltadas: BR-290 (Porto Alegre - São Gabriel passando por Vila Nova); BR-392 (Pelotas-Santa Maria, passando por Santana da Boa Vista); BR-153 (trechos Cachoeira do Sul – BR-290) e RS-357 (Caçapava do Sul-Lavras do Sul). A região é ainda servida por uma malha rodoviária esparsa e sem pavimentação, mas de tráfego permanente na maior parte do ano, principalmente aquelas que ligam sedes municipais.

Figura 1 - Articulação e nomenclatura das cartas topográficas que compõem a área de estudo (cor verde)



Fonte: Extraído das folhas levantadas, desenhadas pela Diretoria de Serviço Geográfico-Brasil, e impressas entre 1979 e 1980.

Figura 2 – Localização, acessos e municípios incluídos na área de estudo.



Fonte: autor

## **4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS**

### **4.1 Clima**

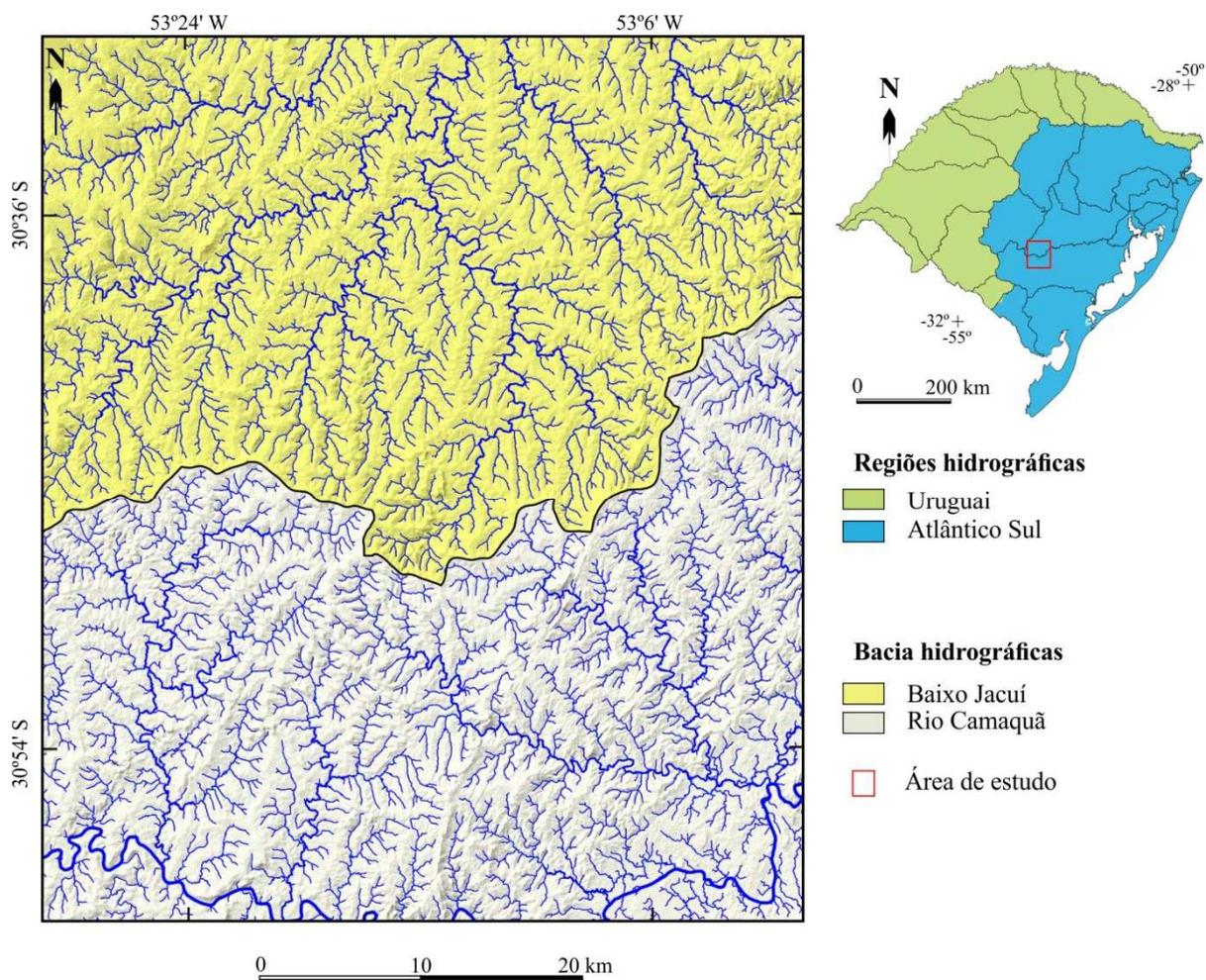
De acordo com Porcher e Lopes (2000) o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como chuvoso, de inverno frio e verão quente e com precipitações pluviométricas durante todo o ano. Os valores da média anual de precipitações variam entre 1.300 e 1.600 mm, de maneira geral bem distribuídas durante o ano, com índices um pouco maiores no período de junho e agosto. A temperatura média anual varia entre 16 e 19 °C, com médias mínimas entre 12 e 13 °C no mês de julho e médias máximas de 29° a 31 °C em dezembro. Variações expressivas de temperatura são registradas entre o inverno, com mínimas de até -4 °C, e o verão, em que as máximas alcançam até 40 °C.

### **4.2 Hidrografia**

A rede de drenagem presente na área pertence a duas sub-bacias hidrográficas; Campanha, localizada no alto rio Camaquã a sul da área e sub-bacia alto arroio Irapuá localizada no Baixo Jacuí à norte da área, conforme figura 3. O rio Camaquã desemboca a leste na laguna dos Patos, enquanto que o arroio Irapuá, afluente do rio Jacuí, deságua no lago Guaíba.

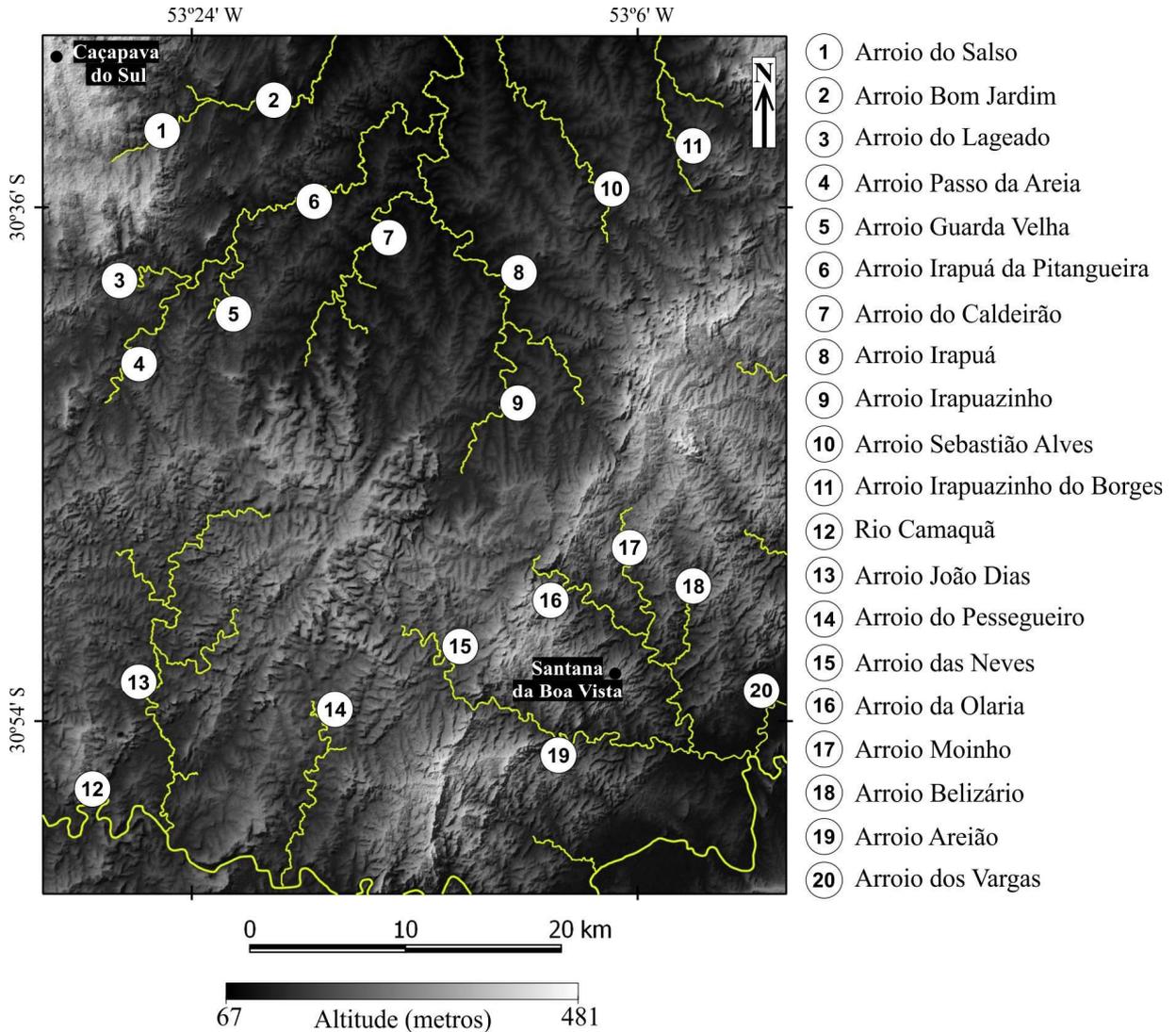
A região possui uma alta densidade de drenagem com sinuosidade mista e assimetria moderada. Os principais cursos d'água são mostrados na figura 4, apresentam, frequentemente, trechos retilíneos com mudanças abruptas de sentido, configurando um padrão subangular, condicionado por feições estruturais, principalmente fraturas e falhas. O padrão de drenagem dominante é do tipo dendrítico a subdendrítico com menor ocorrência do tipo subparalelo restrito aos rios secundários.

Figura 3 – Regiões e bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul



Fonte: drenagens extraídas do MDE. Regiões e bacias hidrográficas foram extraídas dos relatórios técnicos do plano de bacia elaborados por GAMA (2016) e ENGEPLUS (2015)

Figura 4 - Principais rios da área de estudo.



Fonte: extraído do MDE e cartas topográficas (ver figura 1).

### 4.3 Solos

De acordo com o Mapa de solos atualizado por IBGE 2003, a região de estudo é composta por Solos Aluviais eutróficos, Podzólico Vermelho-Escuro distrófico, Planossolo eutrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, Solos Litólicos distróficos e Solos Litólicos eutróficos.

Os solos Litólicos eutróficos (Re) constituem a classe dominante da área de estudo, bem como na área de exposição do ESRG (KER et. al., 1986). Tais solos se apresentam em três subclasses: Re12, Re14, Re15, Re21 e Re22. Todos apresentam mudança textural significativa entre os horizontes superficiais (A) e subsuperficial (B) com relevo ondulado a montanhoso e com afloramentos rochosos, sendo que os dois últimos abrangem as maiores

áreas. Os solos Re12 ocorrem sobre o substrato xistoso, possui uma textura cascalhenta com fases pedregosas e não pedregosas. Os solos Re14 e Re15 diferem apenas no relevo, sendo o primeiro fortemente ondulado a montanhoso e o segundo fortemente ondulado a ondulado, esses solos apresentam uma textura arenosa com substrato arenítico. Os solos Re21 apresentam uma complexa associação de solos Litólicos eutróficos com moderada mudança de horizontes superficiais (A). Distinguindo-se as classes Brunizém Avermelhado e Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico e eutrófico. O primeiro apresenta uma textura média argilosa cascalhenta, enquanto que o segundo uma textura média argilosa. Assim como os solos Re21, o solo Re22 também apresenta uma complexa associação de solos Litólicos eutróficos com moderada mudança entre os horizontes superficiais e textura média cascalhenta sobre um substrato de xistos com Cambissolo eutrófico de textura argilosa cascalhenta.

Os solos Podzólico Vermelho-Escuro distrófico (PEd5) ocorrem preferencialmente na região centro norte, associados as regiões mais baixas onde banham o rio Irapuá e seus afluentes. Caracterizam-se pela textura média cascalhenta a argilosa com ocorrência de argilas de atividade alta e baixa associada sobre um substrato arenítico de relevo ondulado.

Os solos Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVd) ocorrem de forma isolada em duas pequenas áreas, a noroeste e centro sul do mapa. Constitui-se em duas sub-classes: PVd5 e PVd14 ambos ocorrendo em substratos migmatíticos com relevo suavemente ondulado a fortemente ondulado. O primeiro caracteriza-se por modesta mudança textural entre os horizontes superficiais (A). Possui uma textura média argilosa ocorrendo associado a Cambissolo ditrófico com proeminente textura argilosa e média cascalhenta. Já o solo PVd14 possui promitente mudança textural significativa entre os horizontes superficiais (A). Se apresenta com moderada textura média cascalhenta a cascalhenta argilosa, ocorre associado a Podzólico Bruno-Acizentado distrófico e eutrófico.

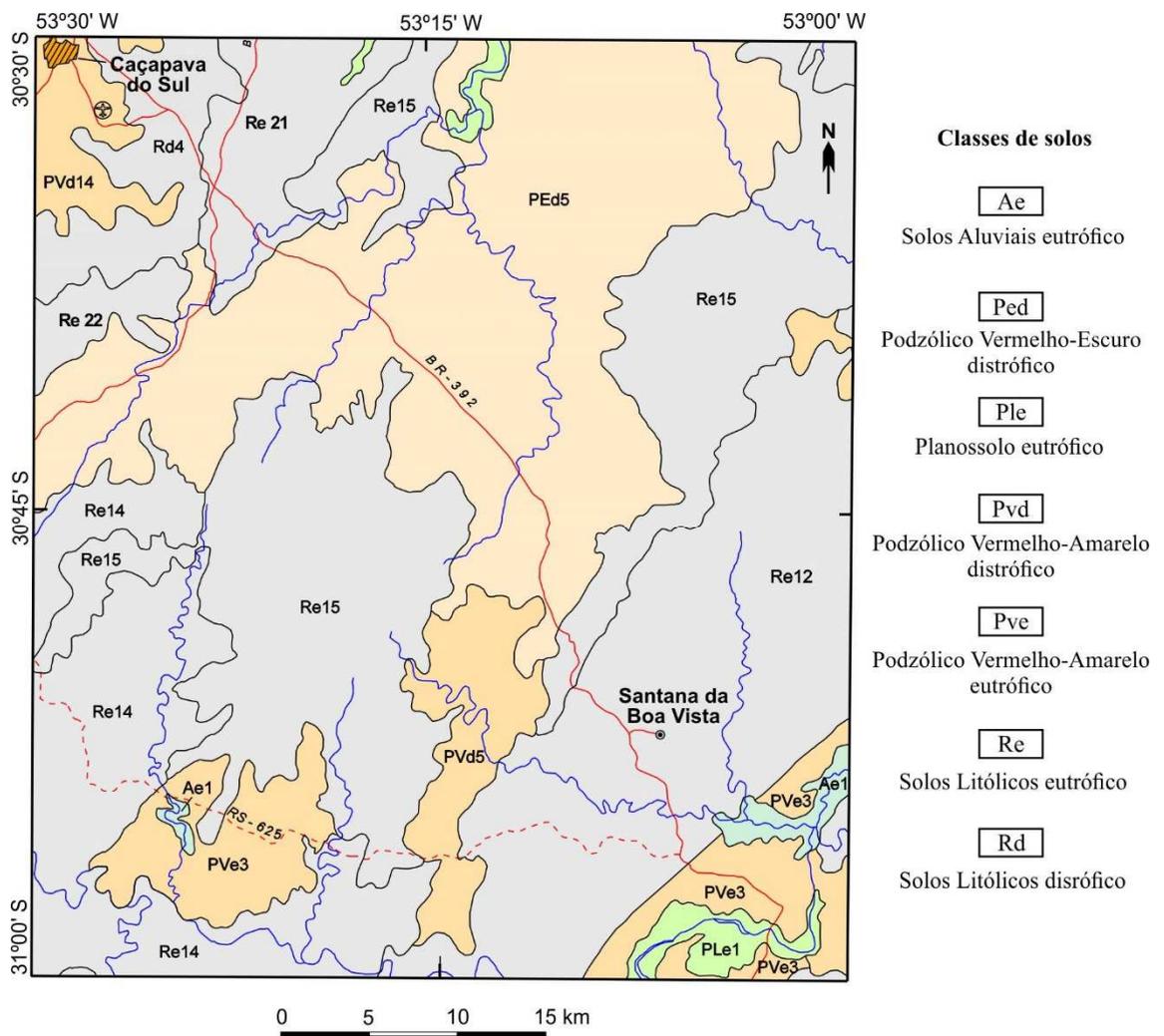
Os solos Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PVe3) estão representados principalmente na área em que ocorre a sequência sedimentar da Bacia do Paraná, região sudeste. Tais solos ocorrem em substrato arenítico com relevo suavemente ondulado a ondula e se caracterizam por possuir textura média argilosa com argilas de atividade alta e baixa, bem como, moderada mudança textural entre os horizontes superficiais.

Os solos Litólicos distróficos (Rd4), com ocorrência no noroeste da área estudada, possuem uma textura média com proeminente variação textural entre os horizontes superficiais. Ocorre sobre um substrato migmatítico com relevo ondulado e forte ondulado com afloramentos de rochas expostas.

Os solos Planossolo eutrófico (PLe) ocorrem como depósitos aluviais associados aos principais rios (Camaquã e Irapuá). Apresentam moderada mudança textural entre os horizontes superficiais com textura média arenosa a argilosa em relevo plano.

Os solos Aluviais eutróficos (Ae1) possuem a menor ocorrência da área estuda. Apresentam-se em relevo plano e textura indiscriminada.

Figura.5: Mapa de solos da área de estudo (Folha Caçapava do Sul)



Fonte: Mapa extraído e modificado de IBGE 2003b.

#### 4.4 Vegetação

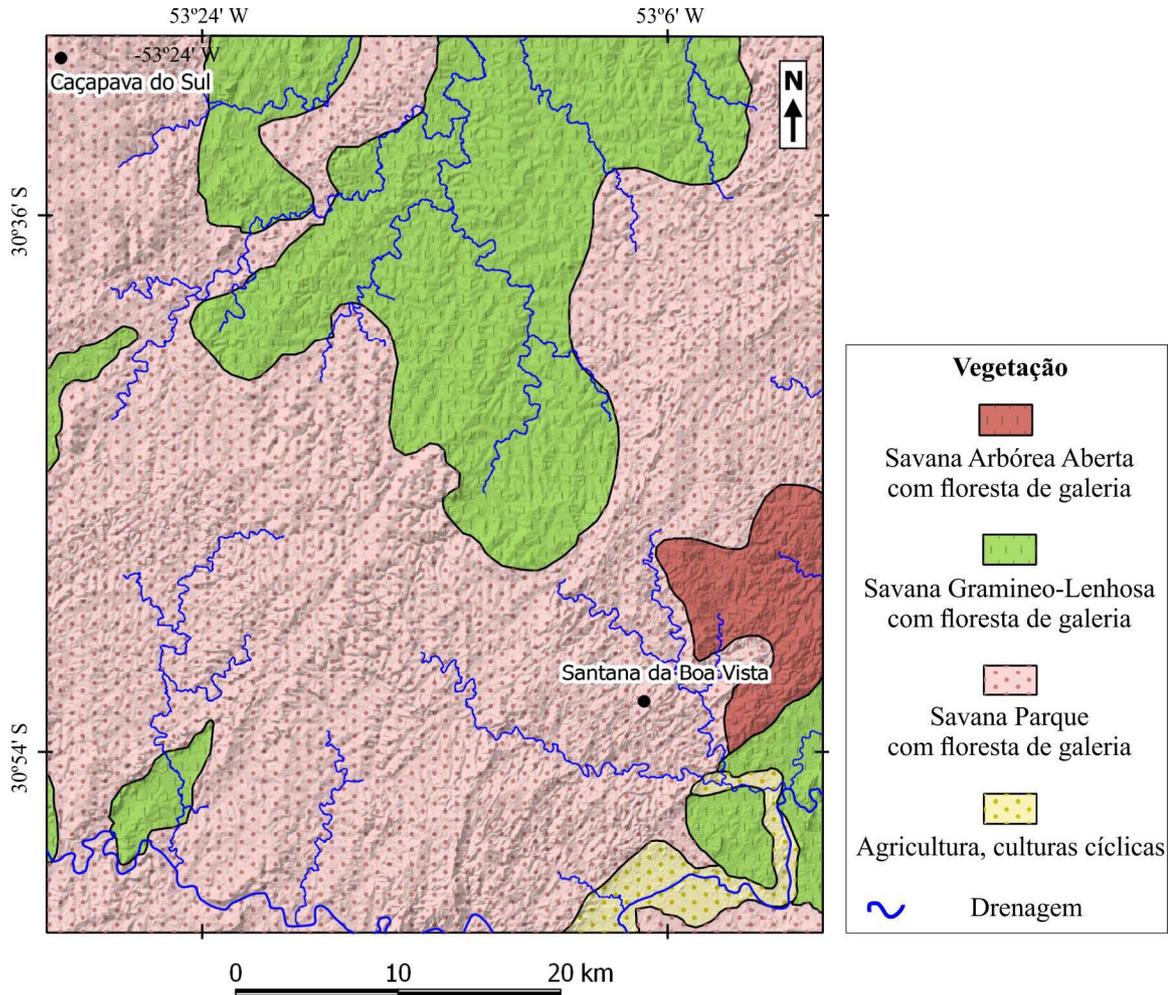
De acordo com a classificação fitogeográfica adotada por Teixeira e Neto (1986), a vegetação da área enquadra-se predominantemente na região fitoecológica da Savana (campos), representadas pelas formações Savana Parque, Savana Gramíneo Lenhosa e Savana Arbórea Aberta, a área também é apresentada 2% de agricultura conforme mostrado na figura 5. A região da Savana no Planalto Sul-Rio-Grandense ocupa área de relevo aplainado e dissecado, em altitudes até pouco superior a 400 metros.

A formação Savana Parque, representando 68% da área estudada, caracteriza-se por apresentar um estrato herbáceo constituído basicamente por gramíneas cespitosas e, em menor escala, rizomatosas, sobre o qual estão distribuídas, de forma isolada ou pouco agrupada, tais como carquejas e vassouras, maria-mole caraguatá, alecrim-do-campo. As espécies arbóreas e grupos de arvoretas, sob a forma de parque, juntamente com florestas de galeria, ao longo dos cursos de água são representadas pelas espécies aroeira-salsa, coronilha, taleira e molho. Com ocorrência localizada, encontram-se o butiazeiro e pinheiro-bravo.

A Savana Gramíneo Lenhosa cobre uma área de 27% da área estudada, é caracterizada por um tapete herbáceo, com predomínio de gramíneas, onde se encontra distribuído regular número de plantas lenhosas, principalmente arbustos e árvores, ora isolados, ora sob a forma de capões, acompanhados ou não por florestas de galeria ao longo dos cursos de água.

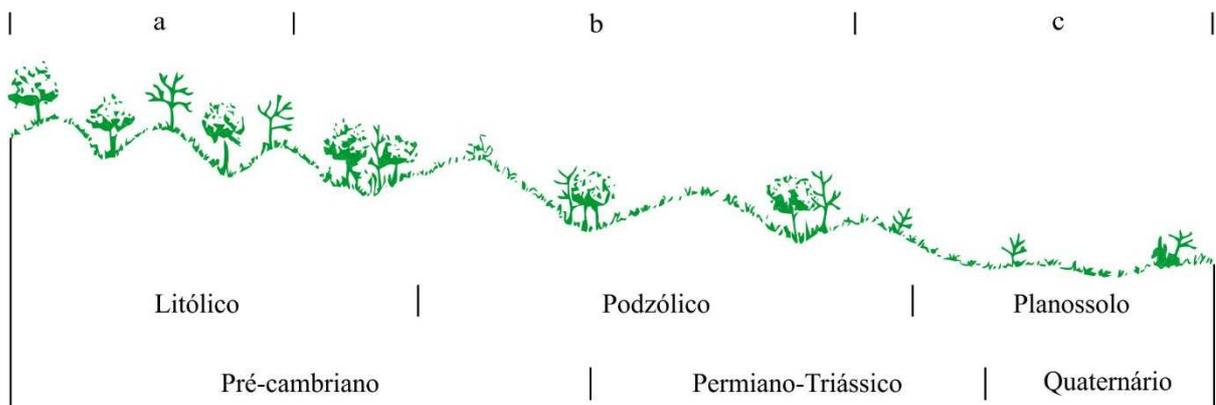
A Savana Arbórea Aberta com cobertura de apenas 3% da área, ocupa regiões de relevo ondulado a forte ondulado, esta formação se caracteriza também por apresentar dois estratos distintos: um herbáceo composto principalmente por gramíneas como macega, capim-caninha, barba-de-bode e outro arbóreo como coronilha, braquilho, pinheiro-bravo, são joão, bugreiro entre outras.

Figura 5 - Mapa da vegetação na área de estudo



Fonte: adaptado de Teixeira e Neto (1986)

Figura 6 - Perfil esquemático das características nas áreas de Savana no Planalto Sul-Rio-Grandense e Depressão Central Gaúcha; a – Savana Parque; b – Savana Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria; c – Savana Gramíneo-Lenhosa



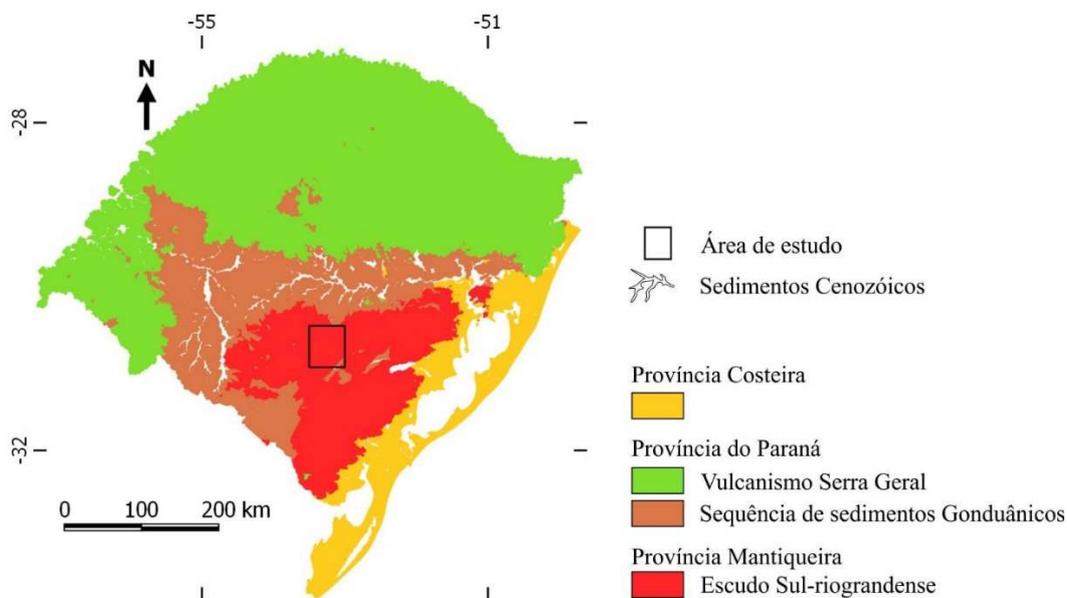
Fonte: Teixeira e Neto (1986)

## 5 GEOLOGIA

### 5.1 Geologia regional

A área de estudo localiza-se no centro-norte do Escudo Sul Rio Grandense (ESRG). Tal escudo, corresponde ao segmento mais meridional da Província Mantiqueira, compreendendo uma superfície ligeiramente triangular de cerca de 45.000 km<sup>2</sup> (MARTH, 2017). É limitado a sudeste e leste por depósitos costeiros e nas demais direções por sedimentos paleozóicos da Bacia do Paraná conforme ilustrado na figura 7. A área de estudo compreende cerca de 6% da superfície do ESRG.

Figura 7 - Províncias geológicas do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: extraído e modificado de Porcher e Lopes (2000)

O ESRG reúne uma grande diversidade de tipos de rochas distribuídas num complexo arranjo tectono-estratigráfico, controlado por lineamentos regionais NE-SW, onde os diferentes compartimentos tectônicos apresentam associações petrotectônicas distintas que variam de idades Arqueanas a Neoproterozóicas (RIBEIRO; LICHTENBERG, 1978; CHEMALE JR, 2000). Sua idade, origem e evolução está associada ao processo de aglutinação do Gondwana Oeste, que ocorreu próximo ao limite pré-cambriano e cambriano. Como resultado deste processo, formou-se um dos sistemas de montanhas de maior extensão

nos continentes da América do Sul e África, representado pelas rochas do Ciclo Brasileiro/Pan-Africano com desenvolvimento principal entre 650-550 (ALMEIDA; BRITO NEVES; CARNEIRO, 2000). Devido aos processos geológicos posteriores à formação destas montanhas, tais como: deformação extensional e compressional, magmatismo, erosão e sedimentação, tem-se atualmente a presença do antigo sistema de montanhas arrasados e segmentados (FERNANDES et al., 1995; CHEMALE JR, 2000).

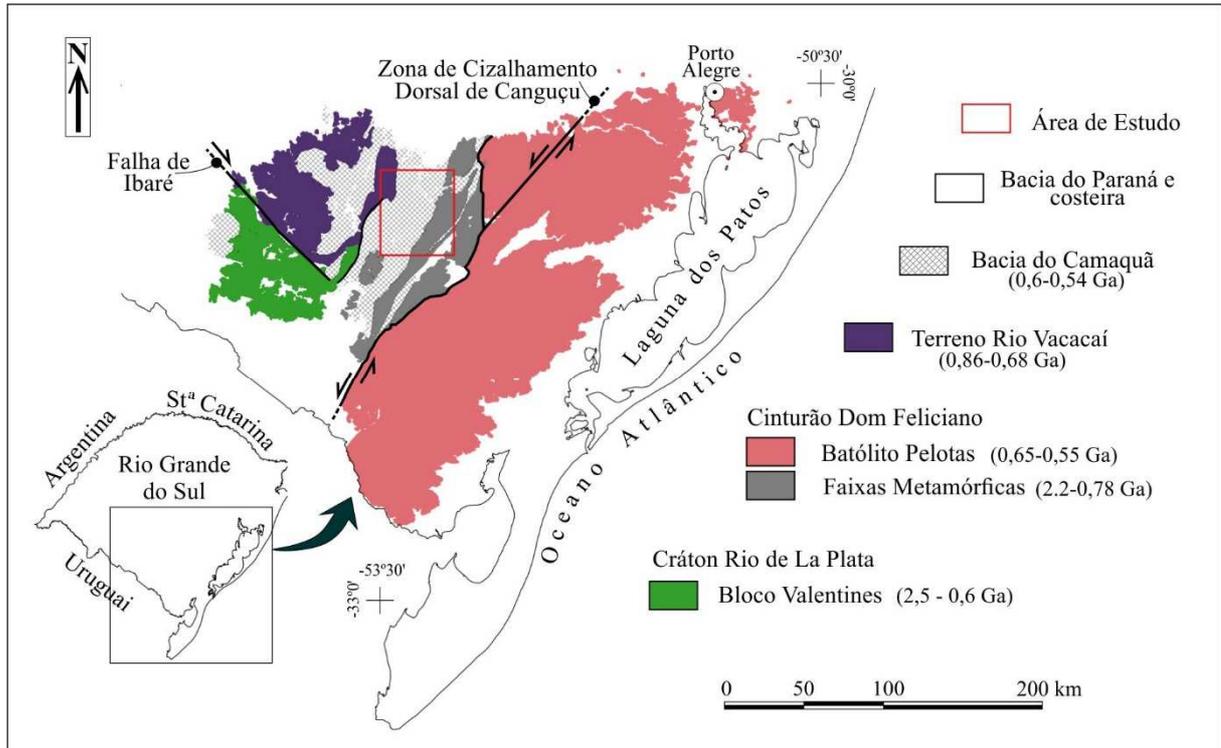
De acordo com (FRAGOSO-CESAR, 1991), o ESRG pode ser compartimentado em três estruturas principais; Bloco Valentines, Cinturão Dom Feliciano e Terreno Rio Vacacaí.

O Bloco Valentines, unidade Paleoproterozóica, está localizado na porção ocidental do ESRG conforme ilustrado na figura 8, é representado pelas rochas de fácies granulito do Complexo Santa Maria Chico (HARTMANN e NARDI, 1983 apud SOLIANI, 1986). É uma unidade composta de tonalitos, trondhjemitos, gnaisses básicos, rochas metassedimentares, rochas ultrabásicas e anortositos metamorfizados durante o Ciclo Transamazônico (SOLIANI JR., 1986) e posteriormente afetados por magmatismo do Ciclo Brasileiro, suspostamente gerado por uma zona de subducção situada a NW da região (FRAGOSO-CESAR et al., 1994).

O Cinturão Dom Feliciano, transpressivamente deformado, localiza-se no centro e leste do embasamento (ver figura oito). De idade neoproterozóica é formado por duas unidades orogênicas, Faixa de Dobramentos e Batólito Pelotas. Ambas estão dispostas como formas alongadas segundo direção NE. A primeira é composta de metagranitos miloníticos, orto e paragneisses de idade paleoproterozóicas, bem como rochas metavulcânicas ácidas-intermediárias, quartzitos, metapelitos Neoproterozóicos (LUSA, 2009). A segunda é compreendida como um grande complexo plutônico, que aflora na porção oriental deste escudo, definido como um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico relacionado à evolução do Ciclo Brasileiro.

O Terreno Rio Vacacaí compreende um terreno intra-oceano obductado sobre a borda ocidental do Cráton do Rio de La Plata e de sua cobertura, sem relação genética com o cinturão Dom Feliciano (FRAGOSO-CESAR et al., 1994). Segundo Fragoso-Cesar (1991) três unidades principais formam este terreno, são eles; os Ofiolitos, Gnaisses Cambaí e supracrustais Vacacaí. Os ofiolitos são representados por escamas tectônicas do assoalho litosférico, já os Gnaisses Cambaí, por restos de raízes de um arco magmático intra-oceânico e por último as supracrustais que representam metassedimentos de pelo menos dois ambientes tectônico.

Figura 8 - Esboço das unidades tectônicas do ESRG.

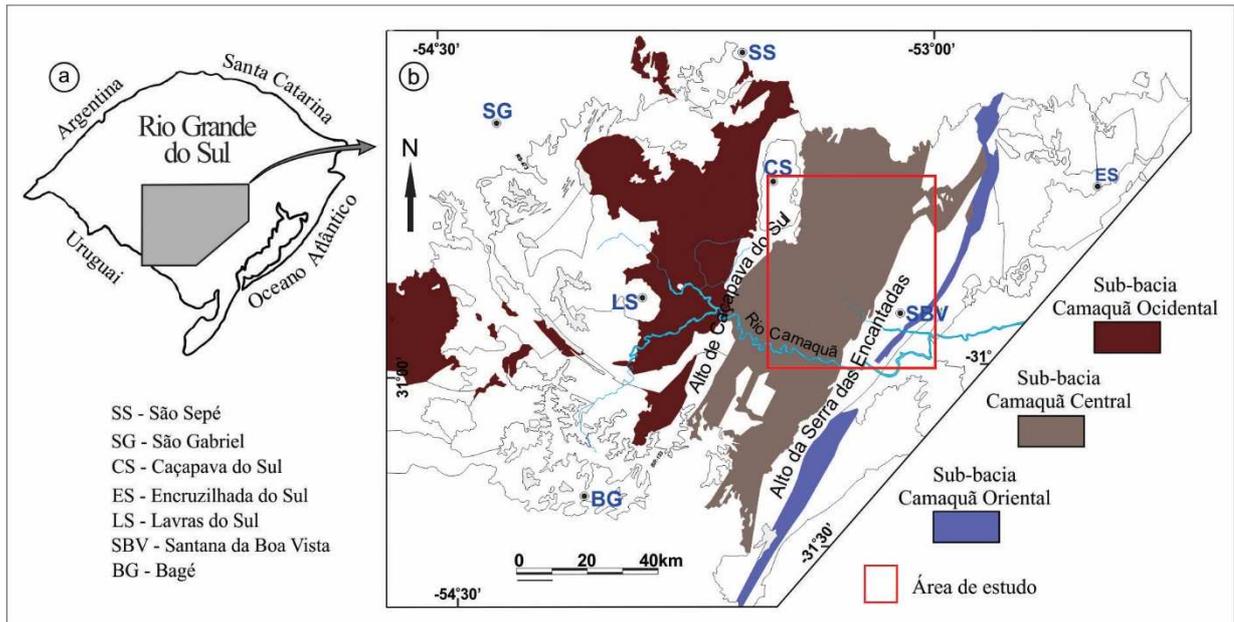


Fonte: extraído e modificado de Fragoso-Cesar (1991) e Fragoso-Cesar et al. (1994).

Após os eventos metamórficos das orogenias brasileiras, ocorridos até o limite Criogeniano-Ediacarano, a região sudeste da plataforma Sul-americana foi marcada pelo desenvolvimento de diversas bacias sedimentares de pequena dimensão e grande espessura, reunidas por Almeida (1969) no Estádio de Transição. A Bacia do Camaquã, denominação dada a essas ocorrências no Rio Grande do Sul, é entendida como um sistema anorogênico de *rifts* de direção NNE-SSW preenchidos pelos espessos depósitos do Supergrupo Camaquã (FRAGOSO-CESAR et al., 2003).

A Bacia do Camaquã, encontra-se sobreposta aos limites entre o Terreno Rio Vacacaí a oeste e Cinturão Dom Feliciano. Durante sua evolução foi segmentada pelo soerguimento de altos do embasamento em três sub-bacias denominadas sub-bacias; Camaquã Central, Ocidental e Oriental conforme ilustrado na figura 9.

Figura 9 - a) localização da Bacia do Camaquã no Estado do Rio Grande do Sul e b) Bacia Camaquã compartimentadas em sub-bacias pelos altos do embasamento.



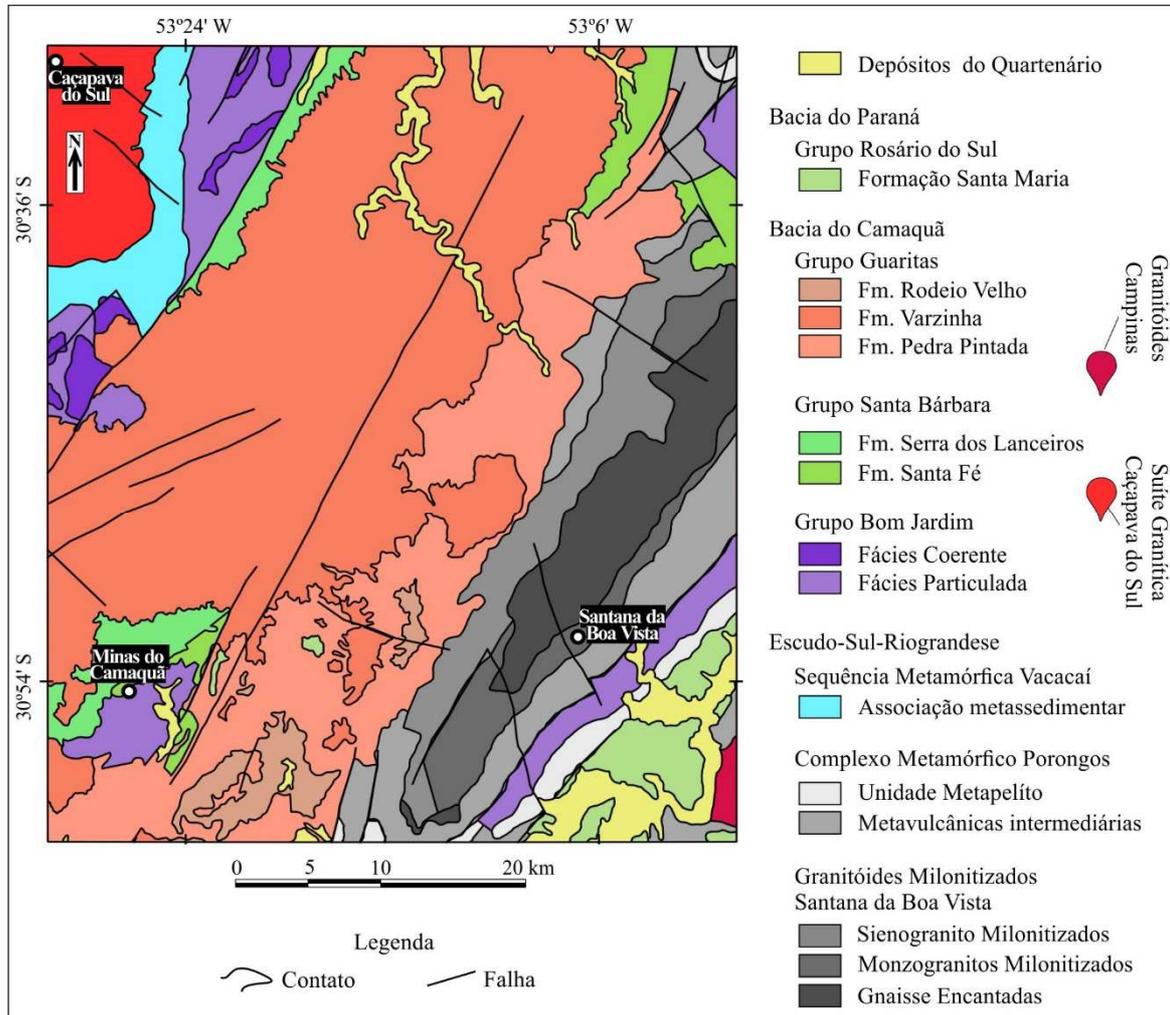
Fonte: extraído e modificado de Janikian (2004).

## 5.2 Geologia local

Como o intuito do presente trabalho é identificar, descrever e classificar as formas de relevo conforme a natureza dos tipos de rochas, não foi dada ênfase nas discussões nem nas classificações estratigráficas propostas pelos diversos autores que estudaram essas rochas. Conforme anunciado, a ênfase aqui, é dada aos tipos de rochas que compõem a região.

A área de estudo é composta quase que integralmente por rochas Pré-Cambriana. Sendo a maior parte representada pela cobertura Vulcano sedimentar da Bacia do Camaquã de idade Ediacarana-Eocambriana, seguida do seu embasamento representado por rochas de idade Paleo a Neoproterozóica e por fim as rochas de idade triássica representadas por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, além de sedimentos do quaternário conforme mostrado na figura 10.

Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo



Fonte: adaptado de Porcher e Lopes (2000).

### 5.2.1 Escudo Sul-Rio-Grandense

O ESRG representa cerca de 30% da área de estudo. As unidades que ocorrem na área são; Gnaisses Encantadas, Granitóides Milonitizados Santana da Boa Vista, Complexo Metamórfico Porongos, Sequência Metamórfica Vacacaí, Suíte Granítica Caçapava do Sul e Granitóides tipo Campinas, aos quais são descritos abaixo:

#### Gnaisses Encantadas

Esta unidade é representada por um corpo alongado de direção NE-SW que se estende desde sudoeste de Santana da Boa Vista para além do nordeste da área de estudo, alcançando cerca de 30 km dentro da área de estudo. Ocupa a porção central da estrutura conhecida como Domo de Santana, sendo contornada por rochas graníticas milonitizadas que lhe são intrusivas.

De acordo com Porcher e Lopes (2000) predominam gnaisses de coloração cinza-escuro, geralmente finamente bandados com bandas relativamente regulares e contínuas. O bandamento gnáissico é marcado pela alternância de bandas mais ricas em minerais máficos (biotita, plagioclásio, hornblenda, quartzo), bandas mais félsicas (plagioclásio e quartzo). A textura é predominantemente granoblástica fina a média, localmente grossa ou porfiroblástica. Quando milonitizado mostra uma foliação principalmente nas bordas. As rochas gnáissicas são cortadas por corpos graníticos tabulares, de coloração avermelhada e espessura variando de poucos centímetros a alguns metros, paralelos ou cortando o bandamento gnáissico.

Porcher (1992 apud PORCHER e LOPES, 2000) sugere uma origem ortoderivada para estes gnaisses. Determinações Rb/Sr em rocha total indicam idades em torno de 2.100 Ma. (SOLIANI JR., 1986) considerando como idade do metamorfismo regional relacionado à geração do bandamento gnáissico.

### **Granitóides Milonitizados Santana da Boa Vista**

Esta unidade, de acordo com Porcher e Lopes (2000), é representada por granitoides miloníticos de composição monzogranítica e sienogranítica, intrusivos nos Gnaisses Encantadas, ambos afetados por deformação de intensidade variável com geração de termos miloníticos, representados por proto, orto e ultramilonitos, como também filonitos e quartzo milonitos. Os monzogranito geralmente encontram-se intensamente deformado com amplo domínio de termos indicativos de mais alta intensidade de deformação, representados por orto e ultramilonitos, quartzo milonitos e filonitos. O Sienogranito, de coloração rosada e textura fina a média, é constituído de feldspato potássico, quartzo e plagioclásio, com quantidades acessórias de muscovita, biotita, granada e turmalina. Nesta fácies os termos proto e ortomiloníticos são mais abundantes, enquanto filonitos e quartzo milonitos tem representação mais restrita do que na fácies monzogranítica.

Com base em datações Rb/Sr, Porcher (1992 apud PORCHER e LOPES, 2000) caracterizou o evento intrusivo responsável pela geração dos Granitoides Milonitizados Santana da Boa Vista como de idade transamazônica e sugeriu que os mesmos tenham sido

deformados durante o Proterozóico Superior, juntamente com o Complexo Metamórfico Porongos.

### **Complexo Metamórfico Porongos**

O complexo Metamórfico Porongos ocupa uma faixa de orientação NE-SW, com largura variável entre 20 e 30 quilômetros, que se estende desde as proximidades da rodovia BR-290, onde é encoberta pelas formações da Bacia Sedimentar do Paraná.

Das seis unidades que compõem Complexo Metamórfico Porongos, de acordo com Porcher e Lopes (2000), duas afloram na área de estudo; Metapelíticas e Metavulcânicas Intermediárias. A primeira é constituída predominantemente por xistos pelíticos, aos quais se associam subordinadamente quartzitos e mármore dolomíticos. A segunda é constituída por rochas metavulcânicas, de composição andesítica a dacítica, interdigitadas com uma sequência de xistos a cloritóide, sendo registrada ainda a presença de lentes de xistos grafitosos e níveis de metachert.

O posicionamento cronoestratigráfico do Complexo Metamórfico Porongos ainda não se encontra bem estabelecido em face da carência de determinações radiométricas. Informações geocronológicas estão limitadas a metandesitos que apresentaram idades Rb/Sr de cerca de 800 Ma (SOLIANI JR., 1986) e em torno de 1.400 Ma por U/Pb em zircão (ORLANDI F. et al., 1990 apud PORCHER e LOPES, 2000).

### **Sequência Metamórfica Vacacaí**

De acordo com Porcher e Lopes (2000) na porção situada a noroeste da área de estudo esta sequência metamórfica é constituída predominantemente de metapelitos, com intercalações de lentes de mármore dolomíticos associadas a rochas calcissilicáticas, além de quartzitos em volumes muito subordinados. De acordo com este autor, as rochas metapelíticas compreendem xistos a clorita e/ou biotita, moscovita e teores variáveis de quartzo, contendo frequentemente granada, cloritóide e/ou estaurolita. Apresentam coloração variável de cinza esverdeada e, quando muito quartzosos, são cinza-escuros a pretos. Segundo Ribeiro (1970), o metamorfismo regional que afetou as rochas dessas associações é de baixo grau, tendo observado rochas de grau metamórfico mais elevado apenas nas proximidades das intrusões graníticas, onde descreveu a presença da fácies hornblenda cornubianitos.

## Suíte Granítica Caçapava do Sul

A Suíte Granítica Caçapava do Sul, localiza-se no extremo noroeste da região estudada, sendo representada por um corpo plutônico intrusivo nas unidades da Associação Metassedimentar da Sequência Metamórfica Vacacaí, mostra foliação milonítica, de forma pervasiva relacionadas ao evento de deformação transcorrente (NARDI e BITENCOURT, 1989; PORCHER e LOPES, 2000). Este plúton possui uma forma ovalada orientada segundo uma direção N-S. De acordo com Nardi e Bitencourt (1989) é constituído predominantemente por rochas granodioríticas com biotita e hornblenda, rochas graníticas leucocráticas, contendo granada e moscovita, e tipos transicionais. Estes autores sugerem que se trata de uma intrusão diapírica simultânea com a segunda fase de metamorfismo e deformação regional registrada no complexo metamórfico encaixante e no próprio batólito granítico. Também argumentam que as características geoquímicas indicam fortes similaridades com granitoides orogênicos intrudidos em arcos de grande maturidade, sugerindo que o complexo foi intrudido nos estágios tardios da Orogênese Brasileira em zonas de cisalhamento, com magmatismo granítico associado.

A constituição mineralógica principal está representada por proporções variadas de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, sendo a biotita o mineral presente nas diversas fácies, enquanto hornblenda foi identificada apenas nos tipos tonalíticos. Sua idade foi obtida através do método Rb/Sr por Nardi e Bitencourt (1989), atingindo uma idade de 549 Ma.

## Granitóides tipo Campinas

De acordo com Porcher e Lopes (2000) esses granitoides são representados por pequenos *stocks*, que mostram feições indicativas de deformação dúctil incipiente restrita a zonas discretas, geralmente nas bordas. Na área de estudo este granitoide, intrusivo no Complexo Metamórfico Porongos é representado por um pequeno corpo localizado no extremo sudeste, nas proximidades do rio Camaquã. Segundo Porcher e Lopes (2000) esses granitoides são leucocráticos de granulação fina a média. Petrograficamente variam de granodiorito a monzogranito, ocorrendo localmente termos classificados como quartzo monzodioritos. São constituídos de plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e biotita. Dados geocronológicos compilados por Soliani Jr. (1986) indicam idades de  $552 \pm 9$  pelo método Rb-Sr.

## 5.2.2 Bacia Sedimentar do Camaquã

A bacia do Camaquã representa cerca de 60% da área de estudo. Dentre as unidades que a preenchem, na área ora estudada, afloram, da mais antiga para a mais nova; a fácies particulada e coerente do Grupo Bom Jardim, as formações Santa Fé e Serra dos Lanceiros do Grupo Santa Barbara e as unidades de topos compostas pelas formações Pedra Pintada, Varzinha e Rodeio Velho pertencentes Grupo Guaritas.

### Grupo Bom Jardim

Este grupo é composto por fácies particuladas e coerentes, ocorrendo de forma isolada com maior extensão em área nas regiões noroeste e sudeste e menor no nordeste e sudoeste. A fácies particulada ocorre em ambas regiões supracitadas, sendo que na região noroeste é composta predominantemente por fácies pelíticas e areníticas ritmicamente intercaladas e na região sudeste é mais conglomerática, neste último ocorrendo como uma estreita faixa regular de direção NE-SW localizada na faixa de dobramentos.

A fácies coerente, ocorre restrita na região noroeste segundo pequenos corpos e faixas isoladas, é composto por rochas vulcânicas andesíticas, intrusões de pequena profundidade, lavas, fluxo de lama, *brecha de fluxo* e piroclásticas associadas.

### Grupo Santa Bárbara

Na área de estudo o Grupo Santa Barbara é pouco expressivo, sendo representado por duas formações; Formação Serra dos Lanceiros representado por uma estreita faixa direção NE à leste do granito, e Formação Santa Fé na região nordeste, ao qual faz contato com rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos e Granitoides milonitizados Santana da Boa Vista (HORN, et al., 2017). Ambas formações também ocorrem na região das Minas do Camaquã.

A Formação Estancia Santa fé, sotoposta à Formação Serra dos Lanceiros, é composta por conglomerados oligomíticos e polimíticos com predomínio de castos de granitos, em camadas lenticulares com acamadamento gradacional normal; subordinadamente arcóseos róseos, finos a grossos, conglomeráticos ou não, em camadas lenticulares com estratificação cruzada tangencial; pelitos avermelhados (HORN, et al., 2017).

A Formação Serra dos Lanceiros, que corresponde a unidade aloestratigráfica proposta por Paim (1994 apud PAIM; LOPES; CHEMALE JR. et al., 1995) e incluída no Alogrupos Santa Barbara e Formação Santa Bárbara de Porcher e Lopes (2000) é constituída predominantemente por arenitos e pelitos de cores avermelhadas, com arenitos conglomeráticos e conglomerados passando a predominar nas camadas de topo.

### **Grupo Guaritas**

Este grupo representa cerca de 50% da área total estudada, sendo representado por uma larga faixa com certa uniformidade de direção NE-SW no centro da área, se estendendo desde a região a sudeste de Caçapava do Sul, até o limite sudeste, onde faz contato com as rochas metamórficas a oeste de Santana da Boa Vista. Este grupo encontra-se estruturado em amplas sinclinais e anticlinais, com mergulho das camadas nos seus flancos raramente ultrapassando 10° e eixos paralelos a estrutura geral da Bacia. De acordo com (HORN et al., 2017) é composto por três formações, Pedra Pintada, Varzinha e Rodeio Velho.

A Formação Pedra Pintada inferior é composta por arcóseos medianos a finos, de cores róseas a avermelhadas, exibindo estratificação cruzada acanalada de grande, médio e pequeno porte, ocasionalmente intercalações de lentes de pelitos. De ocorrência subordinada são encontrados arcóseos conglomeráticos contendo seixos de quartzo, granitos e rochas metamórficas.

A Formação Rodeio Velho aflora a leste e sudeste das Minas do Camaquã é composta por basaltos de cor cinza-escuro (HORN et al., 2017), de acordo com Silva Filho et al., (1996) intrudem parte das rochas da Formação Pedra Pintada. Estas rochas apresentam texturas afanítica, micropofirítica, quando se destacam cristais prismáticos de plagioclásio de grão fino, a localmente, seriada de grão médio a fino. Ocorrem vesículas subarredondadas a arredondas e amígdalas milimétricas preenchidas por quartzo e carbonato.

A Formação Varzinha caracteriza-se por uma sucessão de fácies aluviais e subordinadamente eólicas na base e deltaicas no topo. De acordo com Porcher e Lopes (2000) essas rochas fazem contato através de uma superfície de erosão com a Formação Pedra Pintada. Sua base é composta por camadas de ortoconglomerados polimíticos, contendo seixos, blocos e matações de granitos, quartzo, gnaiss, quartzito, xisto, riolito e andesito, sem matriz. No topo da sucessão de camadas, nesta mesma área são encontrados arenitos finos, muito bem selecionados, quartzosos, exibindo estratificação cruzada de grande porte.

### **5.2.3 Bacia Sedimentar do Paraná**

A sequência de rochas sedimentares gondwânicas ocupa a porção extremo sudeste da área de estudo, nas proximidades do rio Camaquã, ocorrendo sobre o embasamento Pré-cambriano, seja na forma de morros testemunho, ou como preenchimento de paleodepressões (PORCHER e LOPES, 2000). Este pacote sedimentar, abrange uma pequena área correspondendo cerca de 2% da área total de estudo, é representado pela sequência deltaica Triássica da Formação Santa Maria pertencente ao Grupo Rosário do Sul (PORCHER e LOPES, 2000; HORN et al., 2017).

De acordo com Porcher e Lopes (2000) na região de estudo dominam arenitos finos a muito finos e siltitos em camadas lenticulares alongadas, com ocorrência subordinada de arenitos médios a grossos e lentes de conglomerados de grânulos e seixos, em camadas lenticulares com contato basal normalmente erosivo sobre os litotipos mais finos. Os siltitos são maciços ou laminados. Os arenitos médios a grossos podem ter níveis conglomeráticos, com abundância de seixos a grânulos de quartzo e quartzitos.

As camadas apresentam-se horizontalizadas ou com mergulhos de baixo valor (3° a 9°), o contato com rochas do ESRG se faz por discordância erosiva ou através de falhas, como nas bordas do Graben do Arroio Moirão a sudeste de Santana da Boa Vista (PORCHER e LOPES, 2000).

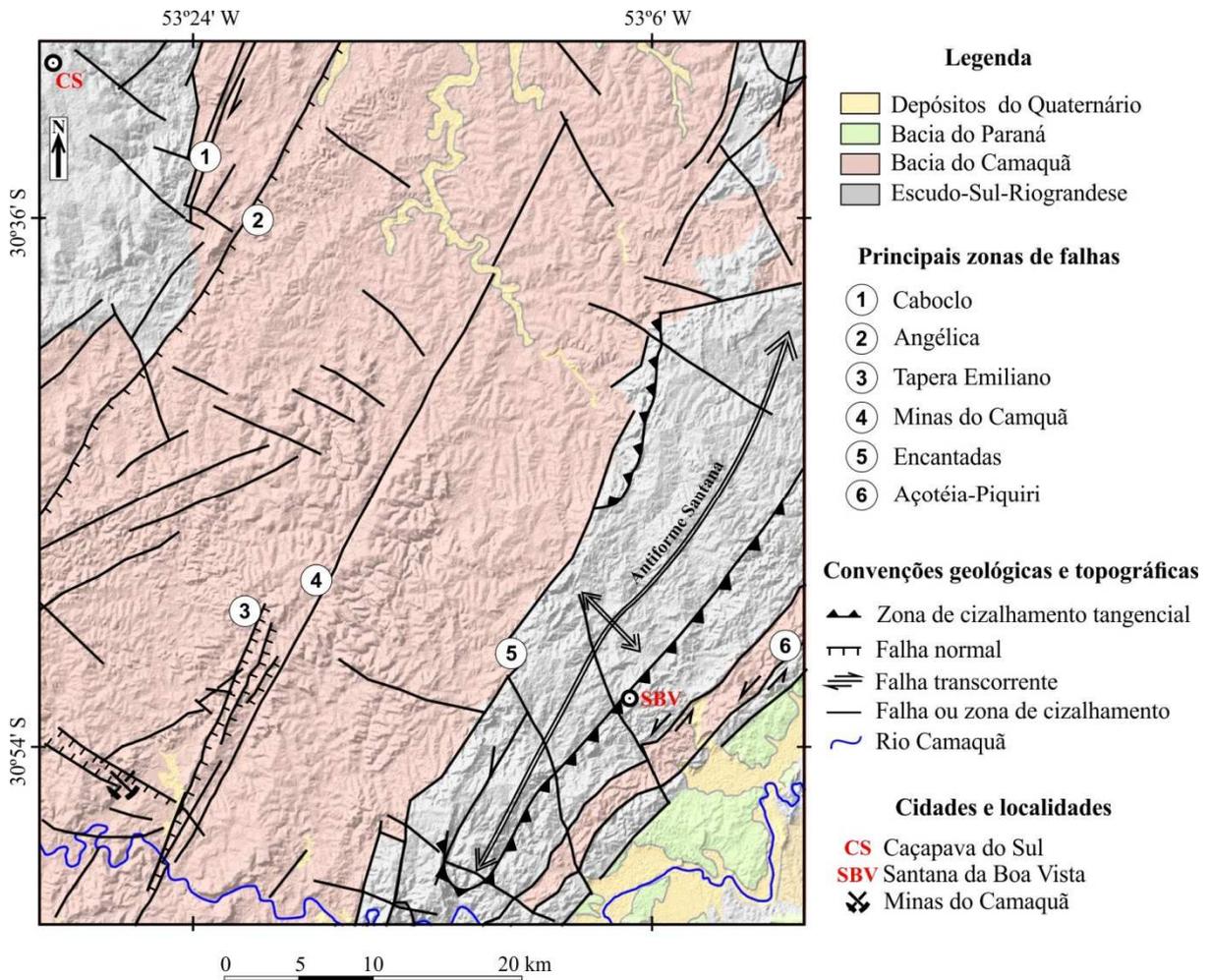
### **5.2.4 Coberturas Cenozoicas**

Essas coberturas correspondem aos sedimentos fluviais do Quaternário, são encontrados ao longo dos vales dos principais cursos d'água localizados na região centro norte e mais expressivamente no sudeste da área, a primeira região corresponde aos depósitos relacionados ao arroio Irapuá e a segunda ao rio Camaquã. Esses depósitos fluviais são predominantemente arenosos, representando o assoreamento destes vales por depósitos de barras de canal.

### **5.2.5 Contexto estrutural local**

As unidades estruturais que compõem a área de estudo encontram-se arrançadas predominantemente segundo zonas alongadas na direção nordeste-sudoeste, devido ao controle tectônico, conformem ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Mapa estrutural simplificado da área de estudo



Fonte: Estruturas retiradas e modificadas de Almeida, 2005; Fambrini, 1998; Porcher e Lopes, 2000; Ribeiro; Bocchi; Tessari, 1966; Ribeiro e Carraro, 1971.

A área é segmentada predominantemente por grandes falhamentos regionais de direção nordeste-sudoeste e por falhamentos locais, de menor expressão, representados por fraturas tensionais de direção noroeste. Ambos os padrões compreendem, respectivamente, aos sistemas de falhas Irapuá e Cerro da Vigia denominados por Ribeiro; Bocchi; Tessari (1966). Os falhamentos de direção NE-SW são responsáveis pelos limites tectônicos entre as unidades do Supergrupo Camaquã, associados a falhas de maior rejeito estudados com maior detalhe por Almeida (2005). O segundo, reativado sucessivamente e associado a contatos entre unidade do Supergrupo Camaquã, e destas com o embasamento. De acordo com

Almeida (2005) ambos sistemas de falhas estão relacionados a direções de anisotropia do embasamento, sendo as direções NE a NNE influenciadas por foliações metamórficas e cataclásticas Neoproterozóicas e Paleoproterozoicas encontradas no Cinturão Dom Feliciano, como também nas porções norte e leste do Terreno Rio Vacacaí, e as direções WNW por foliações metamórfica no Terreno Rio Vacacaí e zonas de cisalhamento Neoproterozóicas relacionadas principalmente aos limites sul desse terrenos (Zona de Falhas de Ibaré). Outros padrões de falhamentos de direção Leste-Oeste são encontrados.

Este arranjo é resultado da evolução tectônica deste escudo durante o Pré-Cambriano superior e parte do Paleozóico superior (Ribeiro e Lichtenberg, 1978), correlato ao estado de transição sugerido por Almeida (1969) como resultado da atenuação dos dobramentos relacionados ao ciclo Brasileiro e início da deformação rúptil.

De acordo com Ribeiro; Bocchi; Tessari (1966), os movimentos ao longo das zonas de falhas do sistema Irapuá influenciaram decisivamente o tipo e ritmo da sedimentação. Estes autores apontam que certos dobramentos são consequência de deslocamentos de blocos falhados. Dobras abertas de grande envergadura, envolvendo rochas competentes, confinadas entre tais zonas de falha.

Contam-se ao todo, seis zonas de falhas de direção NE-SW, conforme mostradas no mapa estrutural da figura 11. Destas, cinco são de expressão regional, sendo denominadas, de Oeste para Leste:

- a) Zona de falha do Caboclo;
- b) Zona de falha da Angélica;
- c) Zona de falha Tapera Emiliano;
- d) Zona de falha da Mina do Camaquã;
- e) Zona de falha Encantada; e
- f) Zona de falha Açotéia-Piquiri.

### **Zona de falha do Caboclo**

De acordo com Ribeiro (1970), a zona de Falha do Caboclo é formada por numerosos falhamentos individuais com largas zonas de rochas brechadas e com claras evidências de deslocamentos laterais de grande amplitude, que tangencia a borda sudeste do granito de Caçapava, ocorrendo associados as falhas noroeste com deslocamentos no sentido sudeste.

Algumas evidências mostram que os movimento horizontais, ou pelo menos laterais, ao longo dos planos ou zonas de cisalhamento, foram na ordem de cinco quilômetros no mínimo. Exemplos de movimentos desta encontra-se nas zonas de falha do Caboclo que indica direções de movimentos predominantemente tangenciais dirigida de nordeste para sudoeste. Sendo testemunhada pelas dobras de arrasto que ocorrem associados (RIBEIRO, 1970).

### **Zona de falha da Angélica**

Esta zona de falhas ocorre na porção noroeste da área de estudo. Ela limita, através de um controle tectônico, rochas dos Grupos Santa Bárbara e Bom Jardim. Esta reativação ocorreu na sua maior parte em época pós-Santa Bárbara, já que esta é amplamente seccionada e justaposta às rochas do Grupo Bom Jardim ao longo de uma linha de contato notavelmente retilínea (Ribeiro, 1970), onde o bloco Santa Bárbara foi relativamente rebaixado, caracterizando esse movimento como normal.

Ribeiro (1970) salienta que durante o tempo da deposição do Grupo Guaritas a intensidade destes movimentos já tinha reduzido, já que em várias regiões este grupo recobre a zona de Falha da Angélica sem aparentar nenhum falhamento. Entretanto, em outras regiões ocorrem reativações desta zona em época pós-Guaritas, conforme demonstram falhamentos na Formação Itararé. Estes movimentos, contudo, de intensidade cada vez mais moderada.

### **Zona de falha Tapera Emiliano**

A região das Minas do Camaquã é condicionada por grandes sistemas de falhas NE e cortado por fraturamentos W e WNW, destacando-se uma grande estrutura N-NE, a falha Tapera-Emiliano localizada ao longo de sua zona axial na região sudoeste da área, possivelmente limitando em profundidade os terrenos Valentines e Serra das Encantadas (FAMBRINI, 1998). Esta zona de falha limita o contato entre o topo Grupo Guaritas e rochas do Grupo Santa Bárbara (FAMBRINI, 1998). Pequenas ocorrências de corpos intrusivos foram identificadas por Fambrini (1998) bordejando esta zona de falhas.

De acordo com Fambrini (1998), o abatimento de blocos do embasamento controlado pelo Sistema de Falhas Tapera Emiliano, a leste, condicionou a deposição inicial da bacia na região enfocada, representadas por sedimentos finos. Com a subsidência, espessa sucessão

clástica imatura pôde ser empilhada, marcando o primeiro e talvez mais importante evento tectono-sedimentar da região.

### **Zona de falha da Mina do Camaquã**

Apesar de sua grande extensão, na área de estudo esta zona não está associada a deformações relevantes, apresentando apenas mergulhos horizontais a sub-horizontais nas rochas próximas a esta zona (Ribeiro; Bocchi; Tessari, 1966; Silva Filho, 1997), o que não acontece na sua extensão para sul, para além da área de estudo, onde Ribeiro e Carraro (1971); Almeida (2005) identificaram a ocorrência de camadas verticalizadas Grupo Guaritas relacionadas as dobras de arrasto nas proximidades desta zona.

Esta zona de falha justapõe as unidades superiores do Grupo Guaritas, a leste, em níveis estratigráficos inferiores a oeste, sejam unidades inferiores do Grupo Guaritas, sucessões do Grupo Santa Bárbara (na região das minas do Camaquã), ou rochas do embasamento à sul da área de estudo (ALMEIDA, 2005).

### **Zona de falha Encantada**

Esta zona de falha limita, por extensa e larga zona a porção leste da sub-bacia Camaquã central e os terrenos metamórficos e graníticos situados a leste. Nesse limite, as camadas sedimentares dos depósitos do Grupo Guaritas, apresentam altos mergulhos na porção nordeste e mergulho sub-horizontais na porção leste e sudeste.

De acordo com Almeida (2005), esta zona é interpretada como a falha mestra de um hemi-graben que permaneceu ativa durante o desenvolvimento da bacia no intervalo de tempo da deposição da Formação Varzinha à Formação Pedra Pintada.

### **Zona de falha Açotéia-Piquiri**

Esta zona de falha limita por extensa e estreita zona de falha a porção leste e oeste da Sub-bacia Camaquã Oriental e o embasamento. De acordo com Picada (1971) é constituído por falhas N30°E variando de N20°-35°E, responsáveis pela formação de grabens e *horts* com movimento predominantemente vertical.

A principal estrutura do sistema é constituída por uma fossa ou vale de afundamento de cerca de 250 km de extensão, que corta o ESRG de lado a lado em diagonal. É preenchida pelas rochas sedimentares do Grupo Bom Jardim, a largura varia de 3 km a 6 km. Além das duas falhas laterais, quase contínuas, que delimitam os depósitos sedimentares, há outras falhas paralelas, escalonadas, típicas das zonas de grabens (PICADA, 1971).

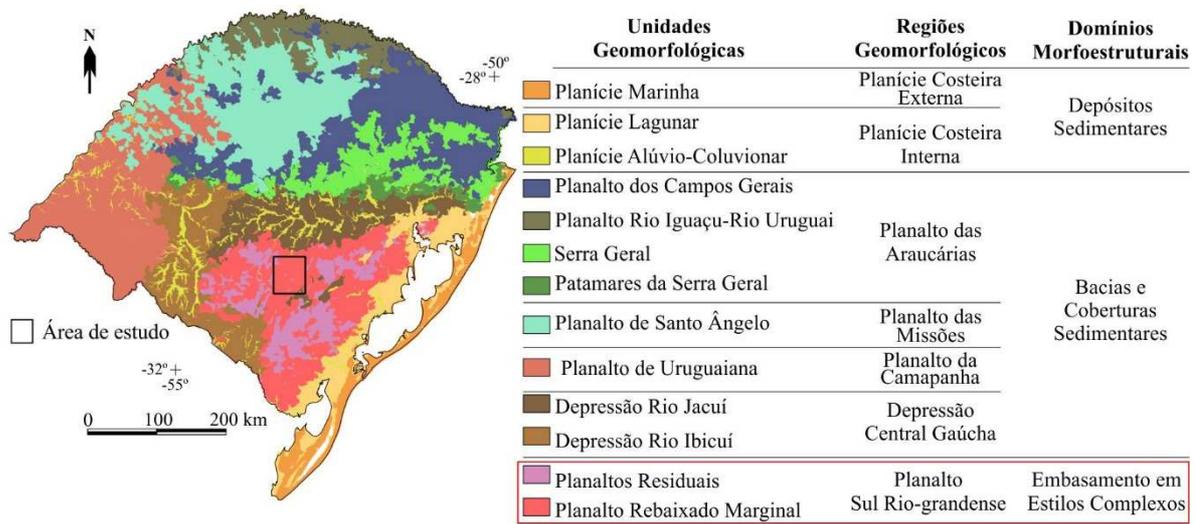
### **Outros falhamentos**

As reativações das falhas NE-SW, NW-SE e E-W durante o Paleozóico e o Mesozóico são registradas pela presença de conjuntos de lineamentos orientados segundo essas direções em imagens de satélite e radar, bem como por seus efeitos nas unidades da Bacia do Paraná (PORCHER e LOPES, 2000). As reativações das falhas NE-SW e N-S durante o Cenozóico são reconhecidas através da presença de depósitos aluviais atuais e subatuais, alongados segundo as direções NE-SW e N-S.

## 6 GEOMORFOLOGIA

De acordo com compartimentação geomorfológica do estado do Rio Grande do Sul de Justus; Machado; Franco (1986) mostrado na figura 12, a área de estudo está inserida no Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos e na região geomorfológica do Planalto Sul-Rio-Grandense. Esta última compreende três unidades geomorfológicas: Planície alúvio-coluvionar, Planaltos residuais e Planaltos rebaixados marginais.

Figura 12 - Compartimentação geomorfológica do Estado do Rio Grande do Sul com destaque em vermelho para compartimentações geomorfológicas ao qual a área está inserida.



Fonte: adaptado de Justus; Machado; Franco (1986).

### Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos

Este domínio corresponde as áreas de exposição das rochas mais antigas, pré-cambrianas, altamente metamorfizadas, falhadas e dobradas. Também ocorrem suítes intrusivas graníticas de idade pré-cambriana e cambriana, além de extensos depósitos sedimentares com intercalações de rochas vulcânicas de natureza andesíticas e capeadas por derrames riolíticos (ver seção 5.2.2).

De acordo com Justus; Machado; Franco (1986), a complexidade geológica da área se revela no relevo através de uma heterogeneidade de tipos dissecados. Ocorrem relevos, planálticos, entrecortados por vários relevos estruturais, residuais com parte do relevo

dobrado, marcas de enrugamento e estruturas falhadas. As cotas altimétricas variam entre 500 e 200 m.

### **Região Geomorfológica Planalto Sul-Rio-Grandense**

Segundo Justus; Machado; Franco (1986), esta região corresponde a superfície denominada ESRG. Encontra-se limitada a norte e oeste pela Depressão Central Gaúcha, a leste pela Planície Costeira Interna e a sul adentra em território Uruguaio. No geral, o relevo apresenta-se intensamente dissecado em formas de topo convexo e vales profundos, que apresentam uma certa orientação de sudeste para noroeste e sudoeste para nordeste.

#### **Unidades Geomorfológicas: Planalto Residual, Planalto Rebaixado e Planície Alúvio-colvionar**

A Unidade Geomorfológica Planaltos Residuais na área de estudo é pouco expressiva, correspondendo aproximadamente 12% do total da área. Entretanto, corresponde aos relevos mais elevados, em torno de 400 m, que ocorrem na Região Geomorfológica Planalto Sul-Rio-Grandense. Conforme o mapa geomorfológico mostrado na figura 12, as maiores e contínuas ocorrências situam-se no extremo noroeste e no centro da área, esta última constitui um divisor de águas entre os afluentes dos rios Jacuí a norte e Camaquã a sul, conforme discutido na seção 4.2. Outras unidades de menor tamanho e continuidade ocorrem principalmente na região sul, sudeste e oeste, como também no nordeste da área. Estas duas últimas regiões apresentam expressiva continuidade para além da área.

De acordo com o mapa geomorfológico da figura 13, o relevo se apresenta dissecado não afetado por controle estrutural (D). Seu índice modal de dissecção é de 31, atingindo 32 nas unidades centrais, isto significa que tal região possui uma média densidade de drenagem e um aprofundamento das incisões muito fraco a fraco.

As formas de relevo manifestam-se quase que integralmente por topos convexos, ocorrendo isoladamente uma superfície de aplanamento degradada desnudada (Pgu) no setor noroeste. As vertentes são íngremes, com manto de alteração pouco espesso ocorrendo muitas vertentes com afloramento rochoso.

A denominação “Planalto Rebaixado Marginal” advém do fato de se encontrarem rebaixados em relação aos relevos elevados que constituem os Planaltos Residuais supracitado (JUSTUS, MACHADO e FRANCO, 1986). Esta unidade é a mais expressiva em área,

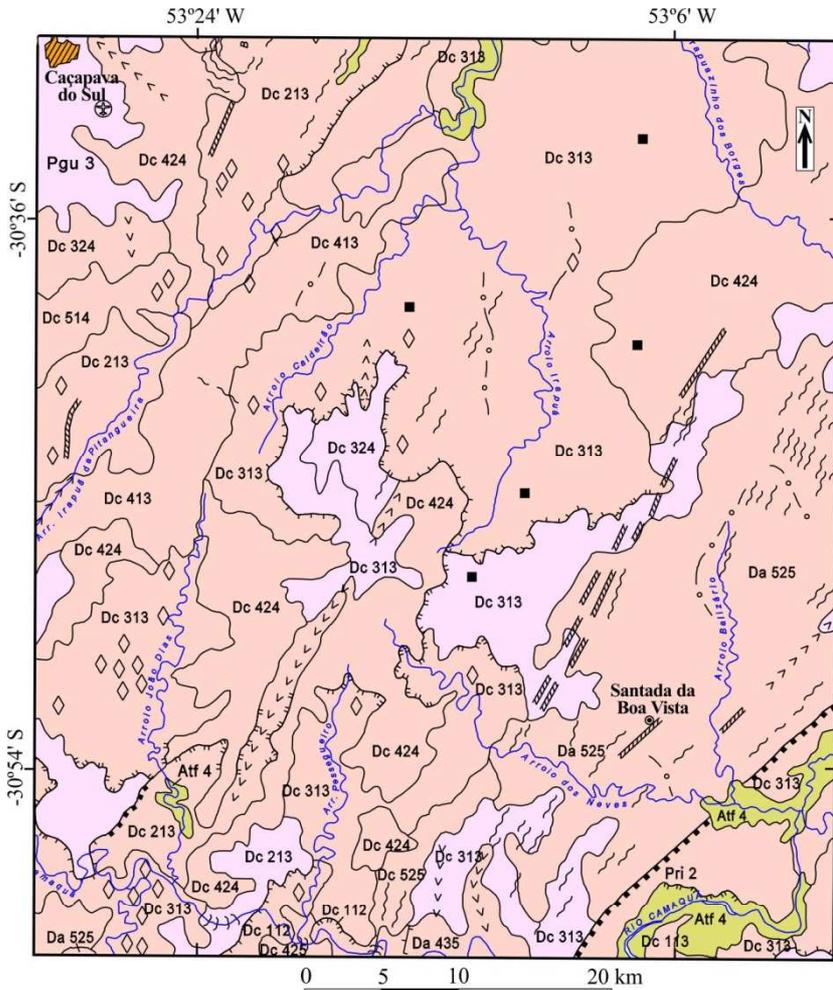
correspondendo a cerca de 85% do total. De acordo com Justus; Machado; Franco (1986) é uma superfície dissecada com cotas altimétricas entre 100 e 200 m, configurando colinas, interflúvios tabulares e secundariamente cristas, apresentando também uma clara direção preferencial dos elementos estruturais geomorfológicos para NE-SW.

No geral o relevo se apresenta dissecado apresentando, nas maiores áreas de modelados, índice de dissecção 31 seguido de 42. As formas de topo são principalmente convexas, as vezes denotando um controle estrutural como pode ser visto o alinhamento de cristas assimétricas na região noroeste e por um extenso vale no centro da área. Há formas de relevo com cumes arredondados e abruptos representados pelos pontões. Estes aparentemente ocorrem agrupados principalmente nas regiões sudoeste, oeste e centro noroeste.

Em algumas regiões como no centro sudeste, destacam-se relevos bastante dissecados, predominantemente dobrados com topos estreitos e alongados (Da52) na direção NE-SW com marcas de enrugamento, ocorrendo associadas a linhas de cumeada de mesma direção. Avançando mais para o sudeste, ocorrem vales até o limite da escarpa de falha com a mesma direção que as demais estruturas. A partir desta escarpa, no extremo sudeste, as superfícies de aplainamento (Pri) predominam, ocorrendo regiões dissecadas com topos convexas isoladas.

A unidade geomorfológica Planície Alúvio-Coluvionar é a de menor expressão em área, representando cerca de 3% do total da área, ocorrendo basicamente na região norte e de maior expressão no extremo sudeste da área onde acompanha o traçado do rio Camaquã. Apresenta um relevo plano, constituído por depósitos de antigos leques de colúvio-aluvionares, heterogêneos e heterométricos, localmente selecionados pela ação das águas correntes.

Figura 13 - Mapa geomorfológico da área de estudo.



- Legenda**
- Unidade geomorfológica**
- Planície alúvio-coluvionar
  - Planaltos residuais
  - Planaltos rebaixados marginais
- Modelado de Acumulação**
- Atf - Terraço Fluvial
- Modelado de Aplanamento**
- Pgu - Superfície de Aplanamento Degradada desnudada
  - Pri - Superfície de Aplanamento Rertocada Inumada
- Modelado de Dissecação**
- D - Homogênea
- Formas de topo**
- c - conjunto de formas de relevo de topos convexos
  - t - conjunto de formas de relevo de topos tabulares
  - a - conjunto de formas de relevo de topos estreitos e alongados
- Pré-disposição a erosão\***
- (1) Muito fraco
  - (2) Fraco
  - (3) Médio
  - (4) Forte
  - (5) Muito forte

- Simbolos**
- Escarpa erosiva
  - Vale ou sulco estrutural
  - Barra de relevo dobrado
  - Pontão
  - Ressalto
  - Escarpa de falha
  - Marcas de enrugamento
  - Movimento de massa
  - Crista Simétrica
  - Limite de tipo de modelado
  - Linha de cumeadas
  - Garganta

**Tabela de índice de dissecação\*\***

		Aumento das incisões				
		Fraco	Muito Fraco	Médio	Forte	Muito forte
Densidade de drenagem	Muito grosseira	11	12	13	14	15
	Grosseira	21	22	23	24	25
	Média	31	32	33	34	35
	Fina	41	42	43	44	45
	Muito fina	51	52	53	54	55

\* O grau de predisposição a erosão representa os processos morfodinâmicos atuantes e, por tanto, requer um tratamento particularizado, exigindo a interação com outros temas.

\*\* Os números vermelhos referem-se aos índices de dissecação que ocorrem na área de estudo.

Fonte: de acordo com Justus; Machado; Franco (1986), atualizado em 2003 por IBGE (Carta Cachoeira na escala 1:250.000).

## 7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo fornecerá alguns conceitos básicos usados na interpretação das paisagens como também, uma síntese sobre os métodos e técnicas de investigação geomorfológica digital e sobre a taxonomia do relevo.

### 7.1 Geomorfologia: aspectos gerais

A geomorfologia<sup>1</sup> investiga as formas de relevo e os processos que as modelam. Forma, processo e as inter-relações entre eles são fundamentais para entender a origem e o desenvolvimento de formas de relevo (HUGGETT, 2011). Assim como em outras ciências da natureza e da matéria, a geomorfologia faz parte da descrição de uma categoria de coisas observáveis, apreendidas pelo senso comum, para dar uma explicação racional (TRICART, 1965).

Os processos geomorfológicos são os vários meios químicos e físicos pelos quais a superfície da Terra sofre modificações (THORNBURY, 1954). Eles são impulsionados por forças geológicas que emanam de dentro da Terra designados processos endógenos ou processos exógenos quando as forças são originadas na superfície ou na atmosfera, bem como, forças vindas de fora da Terra (processos extraterrestres), como impactos de asteroides (THORNBURY, 1954).

Em geral, os processos endógenos tendem a construir ou restaurar áreas que foram desgastadas pelos processos exógenos. As formas da superfície têm suas características distintas individuais dependentes do processo geomorfológico responsável pelo seu desenvolvimento. Interações mútuas entre forma e processo são o núcleo da investigação geomorfológica - a forma afeta o processo e o processo afeta a forma (HUGGETT, 2011), conforme mostrado na figura 14).

Segundo Tricart (1965), as forças opostas que moldam a superfície da litosfera são desiguais. A reação é excepcionalmente igual à ação que a desencadeou. É isso que permite uma evolução. A reação isostática, por exemplo, nunca pode causar uma elevação compensando completamente a ablação desencadeada pela deformação tectônica inicial. Se os

---

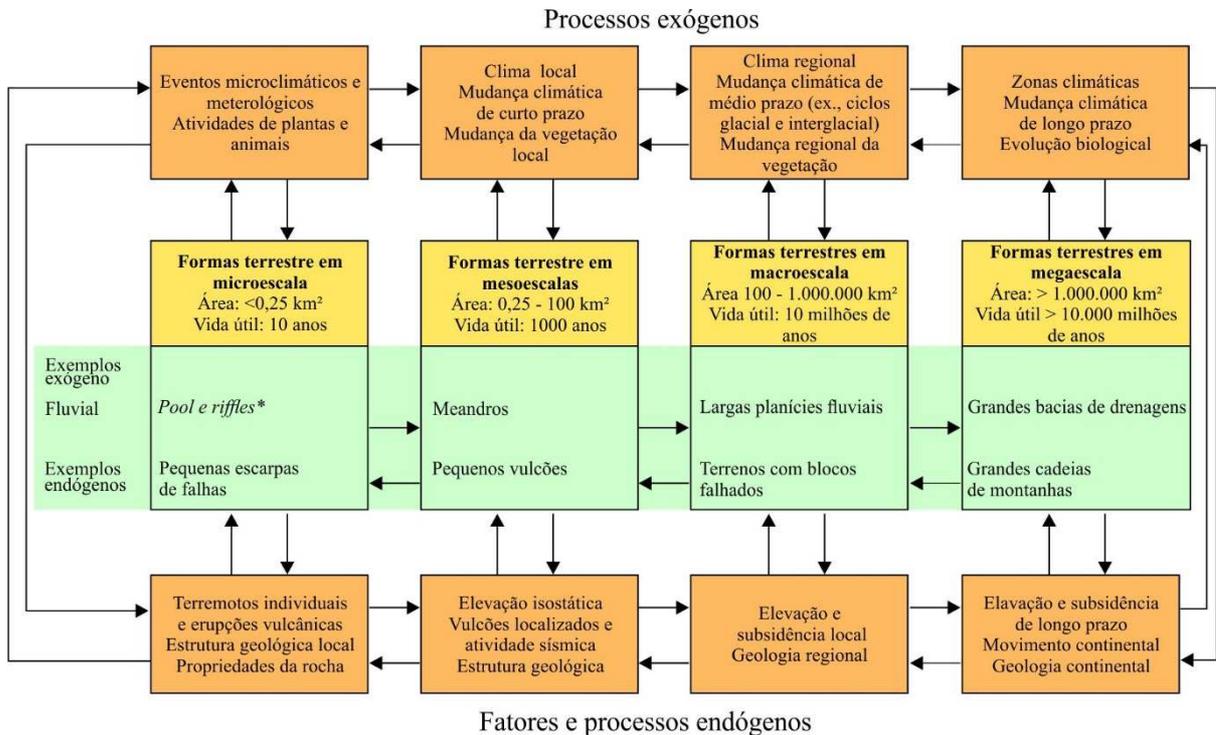
<sup>1</sup> Tricart (1965) recomenda o uso do termo geomorfologia à morfologia, porque o último que não especifica seu objeto, já está sendo usado em outras ciências, principalmente pela medicina, para designar o estudo da forma dos órgãos.

mecanismos tectônicos adequadamente entram em um período de calma, a erosão, apesar da reação isostática, reduz gradualmente a massa da montanha.

Através de diferentes agentes erosivos que agem sobre a superfície da Terra, é produzida uma sequência de formas de relevo com características distintas nos estágios sucessivos de seu desenvolvimento (THORNBURY, 1954). A ideia básica é que, começando com um determinado tipo de superfície inicial subjacente a um certo tipo de estrutura geológica, a ação de processos geológicos sobre esta massa resulte em um desenvolvimento sequencial e não aleatório, de formas terrestres. Os termos metafóricos, juventude, maturidade e velhice, são comumente usados para designar os estágios do desenvolvimento da paisagem, e é habitual adicionar adjetivos de qualificação para designar subestados.

De acordo com Thornbury (1954), o simples fato de que processos geomorfológicos individuais produzem características distintas da Terra torna possível uma classificação genética das formas da Terra. Entretanto, segundo Tricart (1965), não se trata apenas de sinalizar a existência de uma cadeia de montanhas, de um rio ou de um ou outro aspecto de relevo, mas de dar conta de sua localização e de suas particularidades.

Figura 14 - Formas de relevo em diferentes escalas e suas interações com processos exógenos (externos) e endógeno (interno).



Fonte: adaptado de Huggett (2011, p. 5). \* *Pool-and-rifle* é uma alternância entre uma zona profunda (*pool*) e uma zona rasa (*riffles*) ao longo da areia e/ou leito cascalhoso de um rio (ALLABY, 2008). \*\* Cavidade semiaberta, de face íngreme, em uma região montanhosa que foi ou está em glaciação (ALLABY, 2008).

De acordo com Scheidegger (1987), a configuração das formas em uma paisagem geralmente pode ser caracterizada por um conjunto de parâmetros (como índice hipsométrico, densidade de drenagem, declividade, etc.). Este autor salienta também que não é possível fornecer uma classificação “linear” das características geomorfológicas. Como existem vários critérios possíveis como base para classificação, diferentes abordagens poderão fornecer diferentes resultados. Além disso, o tipo de tectonismo e o material presente levam a uma consideração do contexto estrutural e petrológico de uma paisagem.

Como uma configuração específica de uma paisagem é o resultado de um processo dinâmico, é certo que, se um ou mais parâmetros forem alterados, os outros deverão “responder” para que haja um equilíbrio (THORNBURY, 1954). A natureza dos mecanismos que controlam esse equilíbrio depende das relações entre a geomorfologia e as disciplinas que analisam alguns de seus fatores (TRICART, 1965). Entretanto, no geral, segundo Thornbury (1954), os processos respondem a mudanças nos parâmetros de maneira gradual.

De acordo com Huggett (2011), atualmente existem pelo menos quatro abordagens usadas pelos geomorfólogos no estudo das formas de relevo:

- a) Uma abordagem de processo-resposta (forma de processo) ou funcional que se baseia na química e na física e utiliza uma metodologia de sistemas;
- b) Uma abordagem de evolução das formas de relevo que tem suas raízes na ciência geológica histórica (geo-história) e que explora a importante dimensão histórica de muitas formas de relevo;
- c) Uma abordagem que se concentra na caracterização de formas de relevo e sistemas de formas de relevo e que deriva da ciência espacial geográfica; e
- d) Uma abordagem ambientalmente sensível às formas de terra, sistemas de formas da Terra e paisagens em escala regional a global.

A interpretação adequada das paisagens atuais é impossível sem uma apreciação completa das múltiplas influências das mudanças geológicas e climáticas durante o Pleistoceno (THORNBURY, 1954).

Ashley (1931 apud THORNBURY, 1954, p. 26) assinalou sobre a juventude de nossa topografia. Ele percebeu que:

*most of the world's scenery, its mountains, valleys, shores, lakes, rivers, waterfalls, cliffs, and canyons are post-Miocene, that nearly all details have been carved since the emergence of man, and that few if any land surface today have any close relation to pre-Miocene surface<sup>2</sup>.*

Esse autor estimou que pelo menos 90% de nossa superfície terrestre atual foi desenvolvida no período pós-terciário e talvez até 99% tenha a idade pós-Mioceno médio. É fato, a muito tempo conhecido, que o relevo brasileiro teve suas formas esculpidas preferencialmente ao longo do Cenozóico (ROSS, 1985). Os trabalhos de Ab'Saber (1969) (apud ROSS, 1985) e (AB'SABER, 1949) relatam sobre o ritmo epirogenético pós-Cretáceo, bem como sobre os processos circundenundacionais do período pós-Cretáceo.

### 7.1.1 Cartografia geomorfológica

Na Geomorfologia, como em outras ciências da Terra, a cartografia é essencial para tornar clara e concreta a distribuição e configuração espacial dos elementos mais

---

<sup>2</sup>." A maior parte dos cenário mundial, suas montanhas, vales, praias, lagos, rios, cachoeiras, penhascos e cânions são pós-Mioceno, quase todos os detalhes foram esculpidos desde o surgimento do homem e que poucas ou nenhuma superfície terrestre hoje tem relação próxima com a superfície pré-Mioceno." (ASHLEY, 1931 apud THORNBURY, 1954, p. 26, tradução do autor).

significativos que definem o relevo presente no solo. Esse veículo de expressão gráfica é o Mapa Geomorfológico (MONNÉ, 1997).

A cartografia geomorfológica se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades (CASSETI, 2006).

Um “sistema de cartografia geomorfológica” pode ser definido como uma série de elementos ordenados em uma legenda, previamente estabelecidos de acordo com critérios metodológicos, e aplicados à elaboração de um mapa geomorfológico (MONNÉ, 1997).

De acordo com Monné (1997), os elementos básicos a serem representados em um mapa geomorfológico são: informações topográficas, hidrológicas, lito-estruturais, morfometria, morfografia, morfogênese, morfodinâmica e morfocronologia. O valor atribuído a cada um desses elementos, concedendo-lhe maior ou menor prioridade representativa em função do uso de cores, padrões ou símbolos, define as características essenciais do sistema cartográfico. (MONNÉ, 1997).

A cartografia geomorfológica resente-se da dificuldade de encontrar adequado modelo de representação gráfica, existindo uma diversidade de propostas metodológica que valorizam sempre um determinado elemento do relevo.

De acordo com Ross (1992), a cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica, portanto em primeiro plano os mapas geomorfológicos devem representar os diferentes tamanhos de formas de relevo, dentro da escala compatível. Em primeiro plano deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que tem vínculo direto com a topologia das formas. De acordo com este autor, deve-se aplicar para a cartografia geomorfológica os mesmos princípios adotados para a cartografia de solos e de geologia, onde representa-se que estes temas têm de concreto, ou seja os tipos de solos e as formações rochosas, para a seguir dar informações relativas à idade, à gênese e as demais características de um modo descritivo no corpo da legenda.

## **7.2 Métodos e técnicas de investigação geomorfológica digital**

De acordo com Griffiths; Smith; Paron (2011), o mapeamento geomorfológico inicial exigia visitas físicas ao local para registrar as características dos diversos elementos geomorfológicos, utilizando como base uma carta topográfica. Um dos impulsionadores do

ressurgimento do mapeamento geomorfológico é a tecnologia: a disponibilidade de novas fontes de dados permitiu a realização de novos *insights* e mapeamento rápido, organizados no âmbito de um SIG (GRIFFITHS; SMITH; PARON, 2011).

Esse mapeamento serve tanto como um meio de coletar observações quanto na geração e organização de um banco de dados espacial, como por meio de um SIG que reflita a distribuição do relevo em uma área específica da qual propriedades morfométricas e outras podem ser derivadas (GRIFFITHS; SMITH; PARON, 2011). Isso significa que o mapeamento geomorfológico digital deve ser proposital e com um conjunto de metas e objetivos claramente definidos e articulados. Isso inclui a escala da investigação, as técnicas a serem usadas e os tipos de relevo que são o foco do projeto.

Mais recentemente, o advento de dados de elevação com maior resolução e tamanho da grade cada vez menor para produzir modelos digital de elevação (MDEs) de alta resolução. Isso significa que os MDEs resultantes podem ser usados para produzir mapas geomorfológicos de alta qualidade mais rapidamente do que por pesquisa de campo.

Em seu trabalho, Gustavsson (2006) demonstrou que uma combinação de MDE, SIG e pesquisa de campo produz os melhores mapas com a mais alta precisão do terreno. De acordo com Knight; Mitchell; Rose (2011), o mapeamento geomorfológico, a partir de observações detectadas em campo ou remotamente ou uma combinação de ambas, envolve dois estágios sequenciais. Primeiro, as características morfológicas são delimitadas usando símbolos padrão de mapeamento morfológico. Segundo, as características assim delimitadas são interpretadas com relação à sua origem, significado ambiental e relações espaciais entre si. Isso se refere especificamente ao mapeamento geomorfológico.

### **7.2.1 Sensoriamento Remoto**

O sensoriamento remoto inclui todas as representações da superfície da Terra geradas sem medição humana direta, independentemente do tipo de imagem (espectro visível, infravermelho térmico ou bandas de ondas de radar) (GOUDIE et al., 2005). O mapeamento geomorfológico sem o uso de dados aeroespaciais é atualmente obsoleto (VERSTAPPEN, 2011).

Os recentes avanços na tecnologia de satélite e a capacidade dos modernos computadores pessoais para gerenciar grandes volumes de dados digitais introduziram mudanças radicais no mapeamento geomorfológico, fornecendo uma solução positiva para alguns problemas "clássicos" da abordagem cartográfica "tradicional" (DRAMIS; GUIDA;

CESTARI, 2011). Particularmente relevante nesse contexto é o papel do sistema de posicionamento global (GPS), dados de imagens de satélite, MDEs de alta definição e SIG.

Grande parte do esforço de pesquisa em sensoriamento remoto é dedicado à calibração e processamento de imagens (GOUDIE et al., 2005). O benefício do sensoriamento remoto via satélite é, portanto, em grande parte, poder revelar fenômenos, bem como padrões em larga escala simplesmente como resultado da avaliação visual da imagem. Ainda assim, de acordo com Verstappen (2011), o mais importante de tudo, porém, é a forma digital na qual os dados do satélite são coletados. O manuseio de dados digitais agora é complementar à observação visual e resultou na mesclagem de dados de satélite com outras fontes de informação no SIG (IBGE, 2009). Os modelos digitais de terreno são agora uma ferramenta padrão no mapeamento geomorfológico.

A interpretação dos dados detectados remotamente pode ser o ponto de partida do levantamento geomorfológico em todas as escalas de mapeamento. A classificação das unidades e características geomorfológicas pode, nesta fase, ainda ser bastante descritiva, e é comum que a morfogênese das formas de relevo se torne clara somente após investigações de campo (VERSTAPPEN, 2011).

É evidente que a introdução de fotografias aéreas e, mais recentemente, imagens de satélite e de drones deram mais ímpeto a pesquisas holísticas. Primeiro, porque eles fornecem uma imagem exata e detalhada das formas de relevo e, segundo, porque fornecem informações sobre as relações ecológicas existentes na região entre os vários elementos da paisagem, como litologia, geomorfologia, solos, hidrologia, vegetação e uso da terra (VERSTAPPEN, 2011).

Os dados espaciais são fundamentais para qualquer atividade de mapeamento e podem ser classificados em dois tipos: brutos e derivados. Para o mapeamento geomorfológico, os dados brutos incluem informações sobre a distribuição da altura, como linhas de contorno e alturas de pontos em um mapa topográfico e um MDE. Os dados derivados incluem derivativos MDE, como ângulo de inclinação, curvatura e aspeito. Os resultados da interpretação visual de mapas topográficos e imagens aéreas de satélite também são dados derivados úteis para o mapeamento geomorfológico aplicado (OGUCHI; HAYAKAWA; WASKLEWICZ, 2011).

### **7.2.1.1 Imagens de satélites**

Os dados coletados pelos sensores de satélite, principalmente em formato digital, oferecem a oportunidade de observar a paisagem em escala regional, permitem a identificação de características não perceptíveis no local ou em escalas maiores, bem como alterações na paisagem em intervalos regulares de tempo (DRAMIS; GUIDA; CESTARI, 2011).

As imagens de satélite não podem ser substituídas na íntegra por aquelas coletadas por trabalho de campo e análise de fotografia aérea; no entanto, o uso de imagens de satélite de alta resolução pode fornecer um suporte valioso à interpretação geomorfológica da paisagem (DRAMIS; GUIDA; CESTARI, 2011).

De acordo com Dramis; Guida; Cestari (2011), sensores multiespectrais, *scanners* de radiação térmica e sensores ativos de micro-ondas (radar aerotransportado para o lado ou radar de abertura sintético) podem fornecer informações detalhadas sobre os recursos da superfície terrestre, destacando pequenas diferenças de altitude e irregularidades do solo, mesmo em regiões nubladas.

Os satélites *Landsat* foram equipados com sensores eletromagnéticos digitais: *Multi-Spectral Scanner* (MSS) desde o início do programa e, posteriormente, *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e do sensor *Operational Terra Imager* (OLI). As imagens adquiridas foram transmitidas para a Terra usando ondas de rádio. As imagens do *Landsat* tornaram-se amplamente disponíveis para os pesquisadores porque o programa foi desenvolvido para monitoramento de recursos e estudos científicos. As imagens logo foram consideradas úteis para mapeamento geomorfológico geral (OGUCHI; HAYAKAWA; WASKLEWICZ, 2011).

Uma vantagem marcante do *Landsat* e imagens de satélite mais recentes é a disponibilidade da análise de dados de múltiplas frequências (banda) do espectro óptico. O sensor *MSS* pode capturar imagens de quatro bandas (verde, vermelho e duas faixas de infravermelho próximo) e as imagens de sete bandas do sensor TM (azul, verde, vermelho e uma próxima, duas médias e uma de infravermelho térmico). Combinando três das bandas, é possível derivar uma variedade de imagens compostas em cores com cores falsas e naturais, permitindo uma identificação mais fácil dos componentes do relevo com base em diferenças sutis na cobertura do solo e umidade do solo. Outro mérito dessas imagens de satélite é que os dados estão em formato digital desde o início, permitindo o processamento direto por computadores (OGUCHI; HAYAKAWA; WASKLEWICZ, 2011).

### **7.2.1.2 Modelos Digitais de Elevação (MDE)**

Desde a década de 1980, os mapas digitais substituíram amplamente as fontes de dados analógicos tradicionais e os mapas topográficos foram substituídos pelos MDEs, com sua análise facilitada por tecnologias relacionadas, como computadores pessoais velozes e SIG.

Os MDEs, que são imagens digitais nas quais cada ponto da matriz tem um valor correspondente à sua altitude acima do nível do mar, podem ser obtidos pela digitalização dos dados de elevação de mapas topográficos ou, diretamente, de imagens estéreo, radar de abertura sintética interferométrico (OGUCHI; HAYAKAWA; WASKLEWICZ, 2011).

Esses modelos fornecem uma representação 3D da área de investigação, permitindo observações de diferentes pontos de vista e com diferentes escalas verticais. Estes também podem ser renderizados por meio de fotografias aéreas do MDE, mapas topográficos, mapas geológicos e mapas geomorfológicos (DRAMIS; GUIDA; CESTARI, 2011). Além disso, dados morfométricos, como gradientes e quebras de taludes, aspecto de taludes, rugosidade da superfície, bem como parâmetros relativos a redes hidrográficas podem ser extraídos automaticamente dos MDEs (DRAMIS; GUIDA; CESTARI, 2011).

A disponibilidade de MDEs detalhados permite a análise da morfologia da paisagem e processos relacionados em termos de morfometria topográfica ou geomorfometria. Esse método de investigação, em particular, fornece uma contribuição significativa para a geomorfologia tectônica, cujo objetivo principal é extrair informações sobre as taxas e padrões de deformação ativa da topografia da paisagem (DRAMIS; GUIDA; CESTARI, 2011).

Diversos autores utilizaram-se de MDE's como importante fonte de dados geomorfológicos para classificação das diversas unidades de relevo (DRÄGUT et al., 2013; GUSTAVSSON, 2006; ROSA, 2012).

### **7.2.1.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

Os pacotes SIG são ferramentas de referência para a coleta, armazenamento, análise e exibição cartográfica de dados geoespaciais, incluindo dados topográficos de base. Os elementos de entrada da superfície terrestre do mapeamento geomorfológico podem ser selecionados e distribuídos em diferentes camadas georreferenciadas, que podem ser sobrepostas e comparadas, permitindo análises avançadas de dados espaciais, como sobreposição de mapas, adjacência, conectividade e contenção. Um SIG construído com

dados, critérios e regras geomorfológicos é denominado sistema de informação geomorfológica (DRAMIS, GUIDA e CESTARI, 2011).

Um SIG permite o processamento simples e rápido de camadas temáticas e a produção de análises numéricas (DRAMIS, GUIDA e CESTARI, 2011). Outras vantagens incluem a extração automática de dados de mapas topográficos, como cálculo do gradiente e características da inclinação, alteração da escala do mapa, projeções e sistemas de coordenadas, juntando dois ou mais mapas sem perda da qualidade do projeto ou seleção de recursos geomorfológicos do banco de dados para produzir mapas para fins especiais. Esse último recurso fornece uma solução positiva para o problema "clássico" dos mapas geomorfológicos ao representar totalmente, de forma legível, todos os aspectos solicitados da superfície terrestre (GUSTAVSSON, 2006). No entanto, ainda existem limitações gráficas na reprodução de mapas geomorfológicos de uso geral, legíveis clássicos, cobrindo toda a área científica das características da superfície terrestre.

Em um banco de dados SIG, os recursos da superfície terrestre podem ser armazenados nas camadas do mapa como pixels (dados rasterizados) ou pontos, linhas abertas ou polígonos (dados vetoriais) que podem ser combinados com dados de atributos, descrevendo suas características (DRAMIS, GUIDA e CESTARI, 2011).

Mais detalhadamente, de acordo com Dramis; Guida; Cestari (2011), a estrutura do SIG deve incluir os seguintes dados organizados de acordo com um esquema de validação cruzada com níveis informativos verificando um ao outro (controle de congruência):

- a) Dados vetoriais representando características da Terra (banco de dados geomorfológico *sensu stricto*);
- b) Dados rasterizados que representam imagens (dados de saída da análise orientada a pixel / objeto);
- c) Redes triangulares irregulares (TINs – *triangulated irregular network*) que representam a superfície terrestre por meio de nós e linhas de distribuição irregular com coordenadas tridimensionais (x, y e z) dispostas em uma rede de triângulos (modelo físico da área investigada);
- d) Endereços e localizadores que definem posições geográficas (depósitos de dados pesquisados); e
- e) Além disso, um banco de dados SIG deve incluir informações sobre propriedades de superfície e subsuperfície, como estratigrafia e litologia.

Algumas limitações na aplicação dos dados de entrada podem resultar de sua precisão e confiabilidade (por exemplo, os dados extraídos de mapas geológicos, como camadas ou

limites litológicos, às vezes são incertos, heterogêneos e imprecisos, combinando erros de campo originais com erros de desenho de mapa).

### 7.3 Taxonomia do relevo

Dado que as formas do relevo são elementos cartografáveis e que as ciências da Terra precisam de uma descrição sistemática dos aspectos geomorfológicos da superfície da Terra (TRICART, 1965), torna-se importante ser analisada a classificação destas ou a sua taxonomia, pois é necessário estabelecer uma organização e uma ordem no que diz respeito aos diferentes tamanhos e gêneses. Entretanto, a classificação do relevo impõe uma série de dificuldades, que surgem em função da amplitude de escalas tempo-espaciais necessárias para analisar os fatos e fenômenos geomorfológicos (TRICART, 1965).

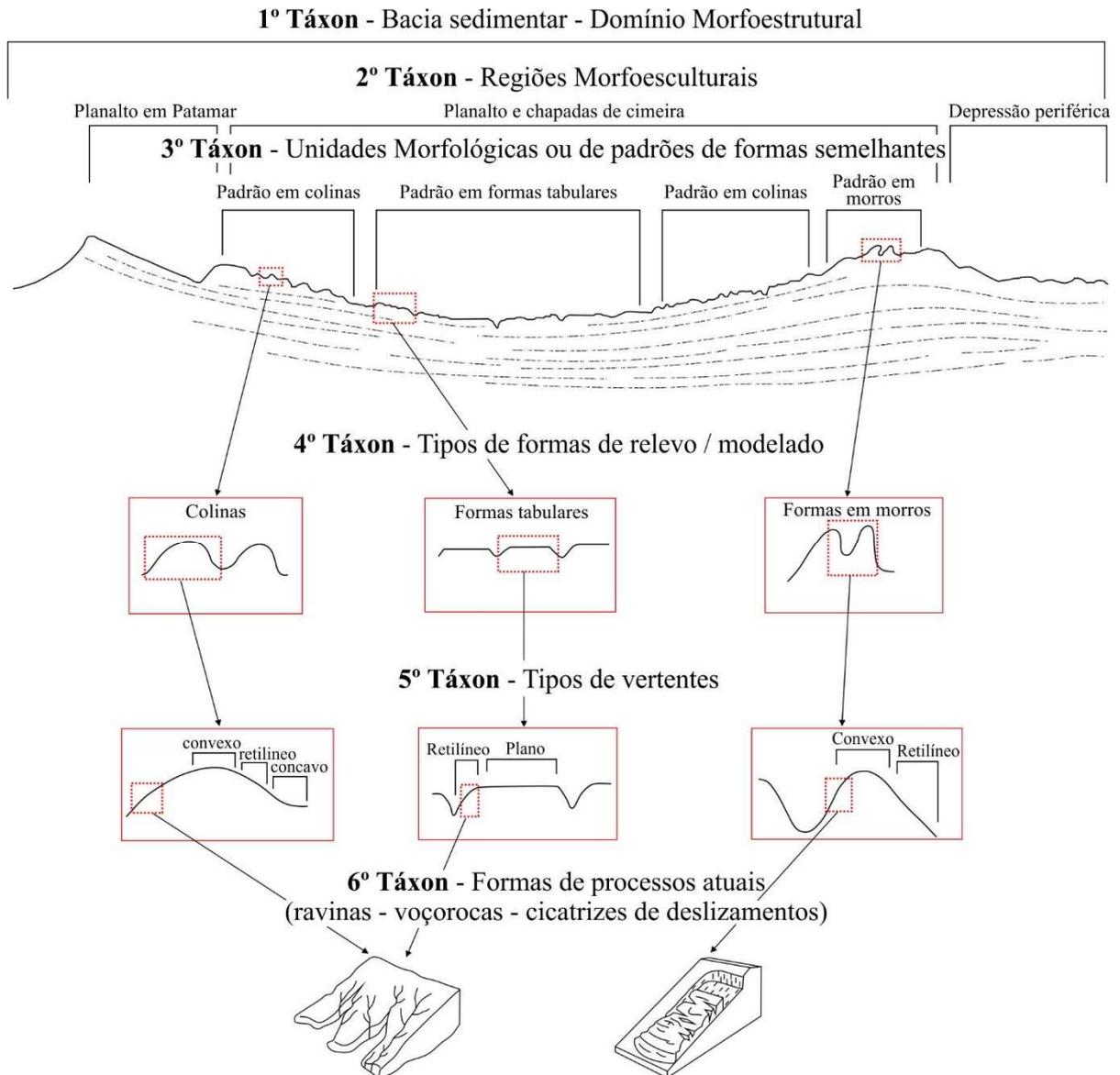
De acordo com Ross (1985), as primeiras classificações geomorfológicas datam do século XIX, suas concepções geomorfológicas eram exclusivamente orientadas para a explicação estrutural, combinada com o conceito cíclico (CAILLEUX e TRICART, 1956). De acordo com (BARBOSA et al., 1984), o Brasil possuía pouca experiência na produção de mapas geomorfológicos e geralmente fundamentados em modelos estrangeiros. Quase toda ela baseada em aerofotos e elaborada por universidades. As bases e os princípios da cartografia geomorfológica no Brasil foram lançados praticamente por Ab'Saber (1969, Apud BARBOSA et al., 1984). Ross (1985), também salienta que as propostas existentes relativas às formas predominantes do relevo brasileiro valorizam com frequência as dificuldades que se tem para estabelecer uma adequada classificação.

Tendo como princípio teórico os processos endógenos e exógenos como geradores do relevo, entre as décadas de 40 e 60, surgiram importantes propostas de classificação geomorfológica, com destaque para Guerasimov (1946 apud ROSS, 1992), (CAILLEUX e TRICART, 1956), (TRICART, 1965), Demek (1967 apud CASSETI, 2006) e Mescerjakov (1968 apud IBGE, 2009). Em geral, essas propostas de classificação apresentam semelhanças quanto aos princípios utilizados, pois tinham como pressuposto uma classificação espaço-temporal, ao qual, também levavam em consideração a idade e os processos morfogenéticos atuantes.

A preocupação quanto às relações taxonômicas das unidades, feições ou formas a serem representadas, também com o planejamento ambiental em espaços físico-temporal de diferentes dimensões levaram Ross (1992) a apresentar uma proposta de classificação taxonômica fundamentada nos pressupostos metodológicos de Demek (1967 apud ROSS,

1992) e Mescherikov (1968 apud ROSS, 1992). Em sua classificação, Ross (1992) assume que os diferentes tamanhos de formas estão diretamente associados à cronologia e a gênese, e propõe um esquema de classificação onde ordena hierarquicamente as formas de relevo em níveis ou táxon, em ordem decrescente do tamanho das formas de relevo, conforme figura 15.

Figura 15 - esquema de classificação do relevo de Ross (1992)



Fonte: segundo Ross (1992)

O primeiro compreendem os maiores táxons na compartimentação do relevo e são chamados de unidades ou domínios morfoestruturais. Ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas.

O segundo táxon, chamado de Unidades ou regiões morfoesculturais, representam compartimentos inseridos nos conjuntos morfoestruturais que, sob a ação climática pretérita e atual, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionômicas.

O terceiro táxon refere-se às Unidades Geomorfológicas, elas são definidas como arranjo de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. Tais padrões, são conjuntos de formas menor do relevo, que apresentam distinções de aparência entre si em função da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo, bem como formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente.

O quarto táxon corresponde as Formas de Relevo individualizadas dentro de cada Unidade Geomorfológica. Assim uma Unidade geomorfológica constitui-se por grande número de formas de relevo do quarto táxon, todas semelhantes entre si tanto na morfologia quanto na morfometria, ou seja, no formato, no tamanho, bem como na idade.

O quinto táxon são as vertentes ou setores das vertentes pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo. As vertentes de cada tipologia de forma são geneticamente distintas, e cada um dos setores destas vertentes também mostram-se diferentes.

O sexto táxon, corresponde às formas menores produzidas pelos processos erosivos atuais ou por depósitos atuais. Assim, são exemplos as voçorocas, ravinas, cicatrizes de deslizamentos, bancos de sedimentação atual, etc., frutos dos processos morfogenéticos atuais e quase sempre induzidos pelo homem.

Nesta classificação ou de taxonomia apoia-se fundamentalmente no aspecto fisionômico, ou seja, no formato das formas de relevo de diferentes tamanhos, entretanto, o aspecto fisionômico é reflexo de determinada influência de ordem genética e ao mesmo tempo indicador de uma determinada idade.

Um fato de grande complexidade é discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida. É incompatível por exemplo, a representação espacializada dos setores de vertentes para escalas médias e pequenas como  $>1:50.000$ . Estes setores de vertentes só se tornam possíveis de cartografar em escalas grandes tipo  $<1:25.000$ .

## 8 MÉTODOS DE TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, foi adotado como método de trabalho, o desenvolvimento de quatro etapas, a seguir descritas sumariamente e que tiveram como embasamento teórico a literatura disponível e previamente selecionada.

### 8.1 Consulta bibliográfica

Os trabalhos técnicos que serviram de base para a caracterização e taxonomia do relevo foram; Justus; Machado; Franco (1986); Ross (1992); IBGE (2009); Arcanjo (2011).

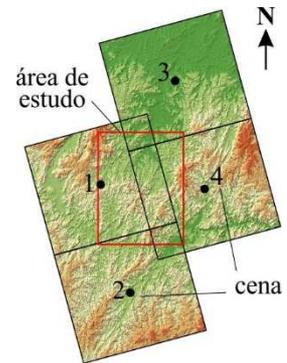
### 8.2 Aquisição do material cartográfico

Os materiais cartográficos utilizados na construção da base de dados e dos mapas temáticos foram:

- a) Mosaico elaborado a partir de modelos digitais de elevação (MDE), obtidos pelo sensor de micro-ondas chamado *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) a bordo do *Advanced Land Observing Satellite-1* (ALOS) e disponibilizados pela *Alaska Satellite Facility* (ASF); os dados encontram-se resumidos na tabela 1;
- b) Cartas topográficas levantadas, desenhadas pela Diretoria de Serviço Geográfico-Brasil (DSG) e impressa em 1992. As articulações das folhas podem ser visualizadas na figura 1;
- c) Imagem do satélite Landsat 8 na composição de bandas RGB, obtida no dia 1 de março de 2020 e disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS), é identificada pelo seguinte código; LC08\_L1TP\_222081\_20200301\_20200313\_01\_T1;
- d) Mapa geológico da Carta Cachoeira do Sul (SH.22-Y-A) elaborado por Porcher e Lopes (2000), na escala 1:250.000 e que abrange toda a área de estudo. Este mapa faz parte do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

Tabela 1 – Informações técnicas dos Modelos Digitais de Elevação utilizados no trabalho. Sua disposição espacial é mostrada na figura ao lado (direito).

Cena	1	2	3	4
Data de aquisição	25/12/2010	25/12/2010	22/04/2010	22/04/2010
Trajectoria ( <i>path</i> )	77	77	76	76
Quadro ( <i>frame</i> )	6560	6550	6570	6560
Órbita absoluta	26198	26198	22595	22595
Resolução espacial	12,5 m	12,5 m	12,5 m	12,5 m
Tipo de arquivo	RTC*	RTC	RTC	RTC



Fonte: retirado de ASF. \* *Radiometrically and terrain-corrected*

Os programas utilizados para a elaboração deste trabalho foram: *Microsoft Excel*, versão 2013, utilizado para realização de cálculos e construção de tabelas e gráficos; *Corel Draw*, versão 17, usado na elaboração de desenhos e esquematização de imagens para melhorar a representação. O programa *Quantum Gis* versão 2.18.18, foi a principal ferramenta utilizada para o tratamento dos dados georreferenciados, como também o programa *Google Earth* para auxiliar na análise e interpretação dos dados.

### 8.3 Procedimentos no SIG

Inicialmente foi gerado um polígono (*shape*) referente a área de estudo. Com base nele foi realizada a aquisição dos MDEs, e das imagens de satélite de modo que abrangessem toda a área. Em seguida, todas as imagens foram reprojctadas para o sistema de coordenadas cartesianas, SIRGAS 2000 UTM zona 22 Sul, uma vez que os dados de origem não permitem uma correta extração de informações altimétricas nem realiza cálculos de superfície precisamente, devido a limitações dos algoritmos do ambiente SIG em projeções no Sistema de Coordenadas Geográficas.

Com a finalidade de fornecer a quantificação necessária e garantir uma aplicação consistente para fins de mapeamento, correlação e interpretação, foram realizadas algumas medições e estudos associados à configuração do relevo, suas formas e dimensões. Para tanto, os seguintes parâmetros morfométricos foram extraídos do MDE e, posteriormente, confeccionados em mapas; hipsometria, declividade e relevo sombreado, todos eles gerados em arquivos *raster*. Concomitante a estes produtos, foram extraídos dados vetoriais de curvas de nível com equidistâncias de 10 e 20 metros, de sub-bacias hidrográficas, da rede de

drenagens e de perfis longitudinal e geológico. Todos estes arquivos foram extraídos por máscara, através do polígono da área de estudo, que representa os vértices externos de quatro cartas topográficas unidas, conforme ilustrado na figura 1.

Os mapas de relevo sombreado, foram criados a partir de duas orientações de iluminação: o primeiro, com azimute e incidência solar de 315° e 40° respectivamente, e o segundo no azimute 45°, possuindo o mesmo ângulo de incidência solar.

O mapa de declividade foi gerado tomando por parâmetros as classes de declividade de vertentes exibidas em porcentagens, segundo a EMBRAPA (1979). Este produto auxiliou na identificação de aspectos do relevo, especialmente nas formas dos topos, formas e larguras dos vales, forma e extensão das vertentes, como também no reconhecimento de zonas homólogas. Outra contribuição foi possibilitar a obtenção de dados sobre o grau de entalhamento das vertentes, conforme o índice de dissecação elaborado por Ross (1992).

O mapa hipsométrico foi gerado de acordo com os parâmetros de amplitude altimétricas dos dados vetoriais de contorno. Talvez este seja o mapa mais importante, principalmente por representar a distribuição altimétrica da área em intervalos coloridos, possibilitando operações de realce de contrastes o que melhora o aspecto visual das feições e características de diferentes alvos, conforme o interesse. Este produto permitiu o reconhecimento das formas de relevo como um todo, também serviu de base para sua classificação. A extração de intervalos de altitude e suas respectivas áreas, possibilitou a construção de uma curva hipsométrica de toda região, o que permitiu uma análise estatística entre altitudes e áreas (relação entre altitudes e área).

Do mesmo modo que os arquivos descritos acima, a extração automática de sub-bacias hidrográficas foi realizada através do MDE. A análise dessas bacias teve início na escolha de parâmetros capazes de fornecer informações sobre seus aspectos físicos gerais com ênfase nas características espaciais, em área e hidrográficas. Para tanto, foram estudadas seis propriedades da rede de drenagem conforme sintetizados por Lima (2006) e IBGE (2009) elencados abaixo:

- a) Grau de integração;
- b) Tropia;
- c) Densidade de drenagem;
- d) Sinuosidade;
- e) Angularidade; e
- f) Ângulo de junção.

Esses estudos forneceram importantes informações sobre as características físicas da superfície, tais como; estruturas, formas de relevo e padrões de drenagem. Este último, de grande relevância na individualização e delimitação das diferentes categorias geomorfológicas.

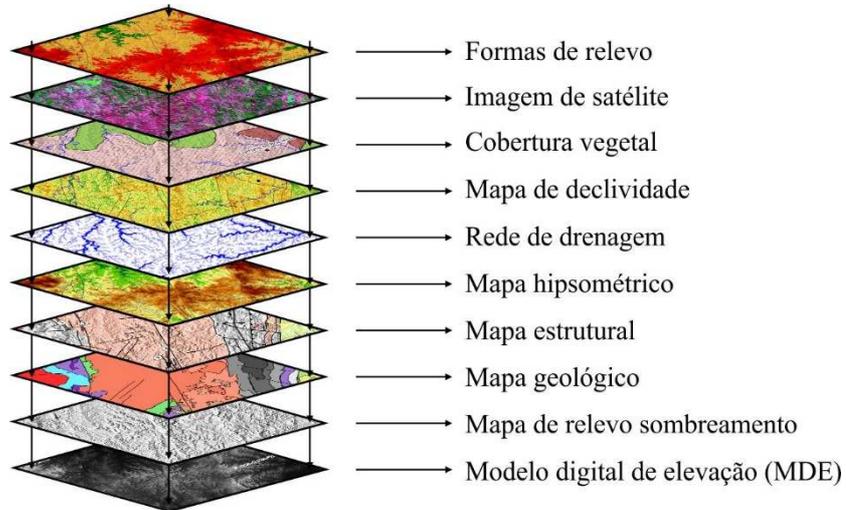
Estes estudos foram realizados com base no MDE e no mapa geológico de Porcher e Lopes (2000), como também com os dados estruturais disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil CPRM-SGB em formato digital (*vetorial*).

Para auxiliar na identificação de aspectos do relevo, padrões de drenagens combinados com características da tonalidade e da textura, foram obtidas imagens do *Landsat 8 - OLI*. Após sua aquisição, ela foi recortada de acordo com a área de estudo e foram realizadas composições falsa cor e cor verdadeira. Aquelas, possuíram o seguinte parâmetro: 543 (falsa cor); estas possuíram a configuração 321 (cor verdadeira). A primeira composição auxilia na identificação de solos, em tons de vermelho a tonalidades rosadas, evidenciando maior ou menor exposição destes, bem como seu conteúdo de umidade. A cor verdadeira foi composta apenas para gerar o mapa base final sobre os quais os arquivos vetoriais de modelados foram gerados.

#### **8.4 Classificação das formas de relevo**

A interpretação se deu exclusivamente em meio digital, onde foram utilizadas bases cartográficas, imagens georreferenciadas e ferramentas de geoprocessamento descritos anteriormente. A interpretação visual envolveu a identificação e a comparação de uma série de parâmetros espaciais e espectrais, que foram examinados através da sobreposição de camadas com diferentes atributos (ver figura 16). Esta técnica possibilitou a integração de vários tipos de dados devidamente registrados.

Figura 16 - Sobreposição de camadas de diferentes atributos, a ordem da sobreposição é de acordo com a necessidade do que se pretende analisar.



Fonte: autor

A interpretação geomorfológica teve início na compartimentação dos domínios morfoestruturais, realizada com base nas unidades geotectônicas e seus arranjos estruturais e litológicos presentes no mapa geológico da área. Perfis geológicos também foram utilizados para auxiliar no entendimento desses arranjos.

A classificação das unidades morfoesculturais (2º táxon) foi realizada através do estudo das rugosidades nas imagens do MDE e com o auxílio de dados morfométricos. Em seguida, foram realizados estudos das propriedades das drenagens, onde, através da obtenção e interpretação de seus padrões, foram identificadas suas diferenças e semelhanças texturais. Posteriormente foram delimitados os modelados, as formas de relevo e o índice de dissecação. Os modelados correspondem ao 3º nível taxonômico, enquanto que as formas de relevo ao 4º táxon. Este último corresponde às formas do topo das estruturas. Ambos níveis foram codificados pelos conjuntos de letras símbolos e números arábicos utilizados por Ross (1992).

## 9 RESULTADOS

A análise geomorfológica permitiu a identificação e delimitação de dois tipos de modelados na área de estudo: (1) acumulação e (2) dissecação. O primeiro compreende cerca de 15,0% de toda área e são representados por padrões de relevo pertencentes às planícies fluviais, associadas aos principais canais de drenagem. O segundo, abrange uma ampla área correspondendo cerca de 85% de toda área estudada. Os dados quantitativos dos modelados são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Dados quantitativos dos modelados presentes na área de estudo

Modelados	Legenda dos símbolos	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Modelado de acumulação	Atf Terraço fluvial	55,8	2,1
	Arc Rampa de colúvio	331,2	12,4
	Ai Plano de inundação	4,0	0,2
<i>Total</i>		<i>391,0</i>	<i>14,7</i>
Modelado de dissecação	Dr Em ravinas	86,4	3,2
	Da Homogêneo com topos aguçados	169,8	6,4
	Dc Homogêneo com topos convexos	1.138,2	42,8
	Dt Homogêneo com topos tabulares	38,8	1,5
	Dea Estrutural com topos aguçados	328,2	12,3
	Dec Estrutural com topos convexos	509,9	19,2
<i>Total</i>		<i>2.271,4</i>	<i>85,3</i>
<b>Formas dos topos</b>			
a	Aguçado	479,6	22,2
c	Convexo	1.643,8	76,0
t	Tabular	38,8	1,8

Fonte: autor

Os modelados de acumulação são representados quase que integralmente por rampas de colúvio, correspondendo a mais de 80% deste modelado, o restante é apresentado por terraços fluviais seguidos de planície de inundação.

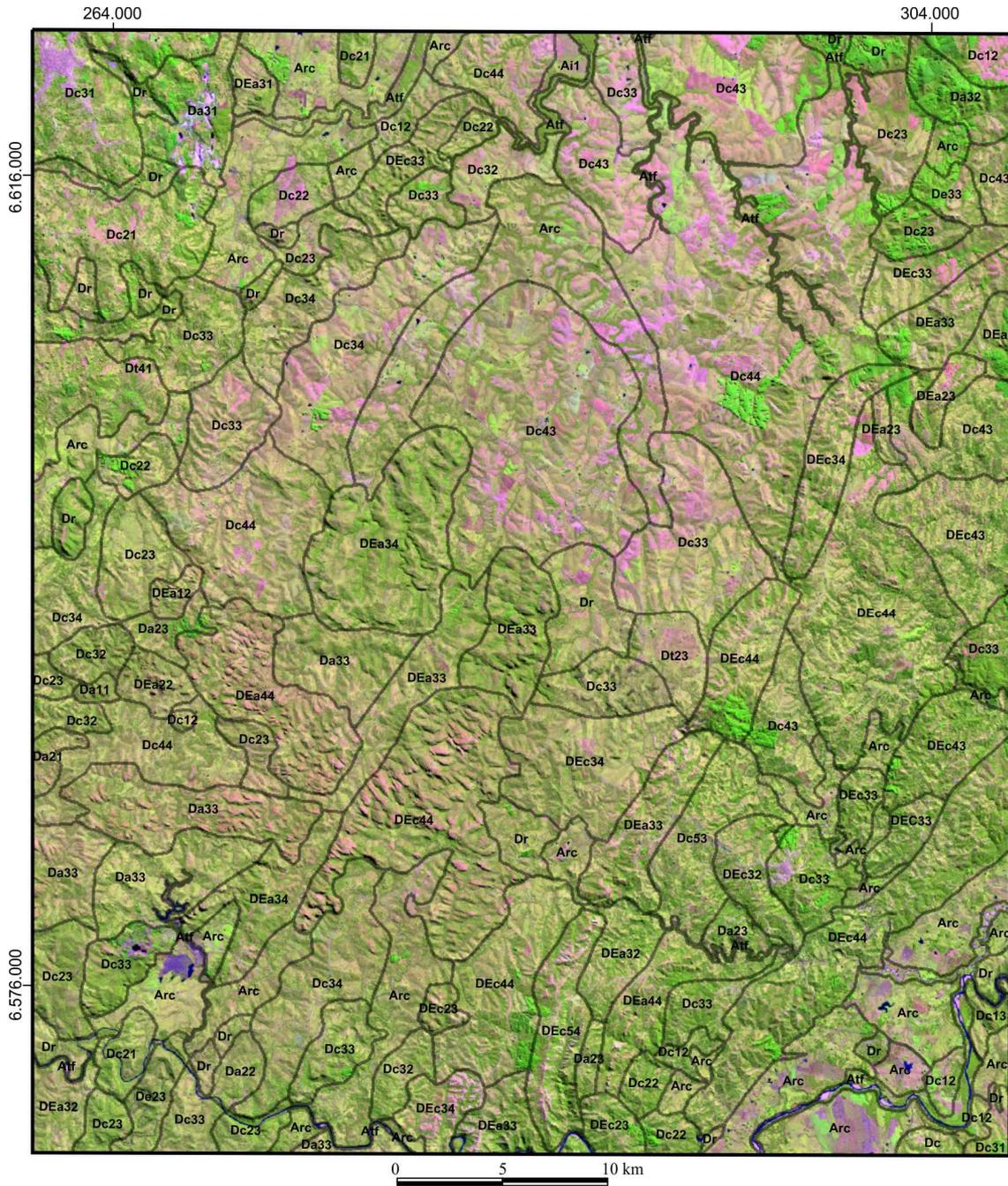
Os modelados de dissecação são representados por formas de relevo de topos principalmente convexos, que correspondem a 76,0% da área dissecada, predominando nas regiões noroeste, norte, leste, centro sudeste e sul. Os padrões de formas se caracterizam por diferentes intensidades de dissecação do relevo por influência dos canais de drenagem temporários e perenes. Cerca de 80% da área dissecada é representada por índices de

dissecação<sup>3</sup> que variam entre 33 e 54 com predomínio do índice 44 seguido por 33, ambos com percentuais de 28,2% e 20,0% respectivamente, os mais altos índices são encontrados na porção oriental da área. Os modelados e seus respectivos índices podem ser visualizados na figura 17.

---

<sup>3</sup> Este índice é composto de dois algarismos arábicos, o primeiro número corresponde ao grau de aprofundamento dos vales e varia de 1 (fraco) até 5 (forte) e o segundo, o da dimensão interfluvial média, também variando do 1 (muito pequeno) até 5 (muito grande) Modificado de Ross 1992.

Figura 17 - Mapa dos modelados na área de estudo



## Letras - Símbolos

<b>Modelado de acumulação</b>	Atf	Terraço fluvial
	Arc	Rampa de colúvio
	Ai	Planície de inundação
<b>Modelado de dissecação</b>	Dr	Em ravinas
	Dt	Homogêneo com topos tabulares
	Da	Homogêneo com topos aguçados
	Dc	Homogêneo com topos convexos
	Dea	Estrutural com topos aguçados
	Dec	Estrutural com topos convexos

## Tabela de dissecação\*

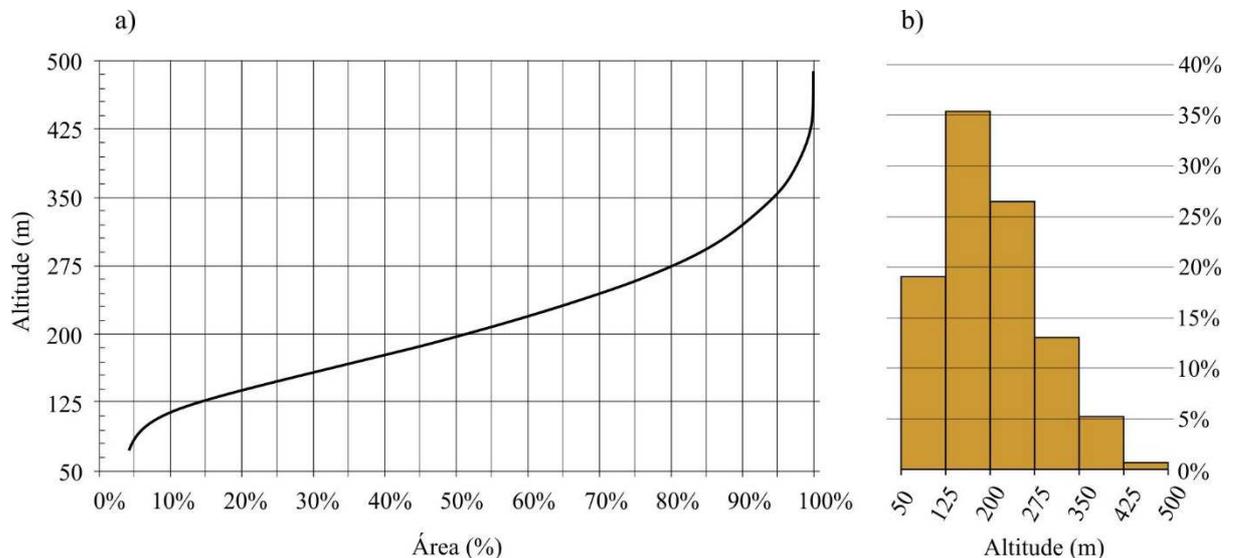
Grau de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média (m)				
	Muito grande (> 1500)	Grande (700 a 1500)	Média (300 a 700)	Pequena (100 a 300)	Muito pequena (< 100)
Muito fraco (< 10 m)	11	12	13	14	15
Fraco (10 a 20m)	21	22	23	24	25
Médio (20 a 40 m)	31	32	33	34	35
Forte (40 a 80m)	41	42	43	44	45
Muito forte (> 80m)	51	52	53	54	55

Fonte: modelados delimitados pelo autor sobre uma imagem do satélite *Landsat 8*, respectivamente na órbita e ponto 222 e 81. A combinação de bandas utilizadas foram R5, G4 e B3.

## 9.1 Características morfométricas da área de estudo

A área possui uma extensão de 2.662,36 km<sup>2</sup>, apresenta uma amplitude altimétrica de 414 m, sendo a maior elevação de 481 m e a menor 67 m. Cerca da metade da área possui altitude inferior a 200 m, do mesmo modo, a outra metade situa-se acima dessa cota, conforme ilustrado no gráfico 1a. As altitudes mais frequentes ocorrem entre 125 m e 200 m, seguido pelo intervalo 200 m e 275 m (ver gráfico 1b). Sendo que apenas 20% da área possui altitude superior a 275 m conforme o gráfico 1a.

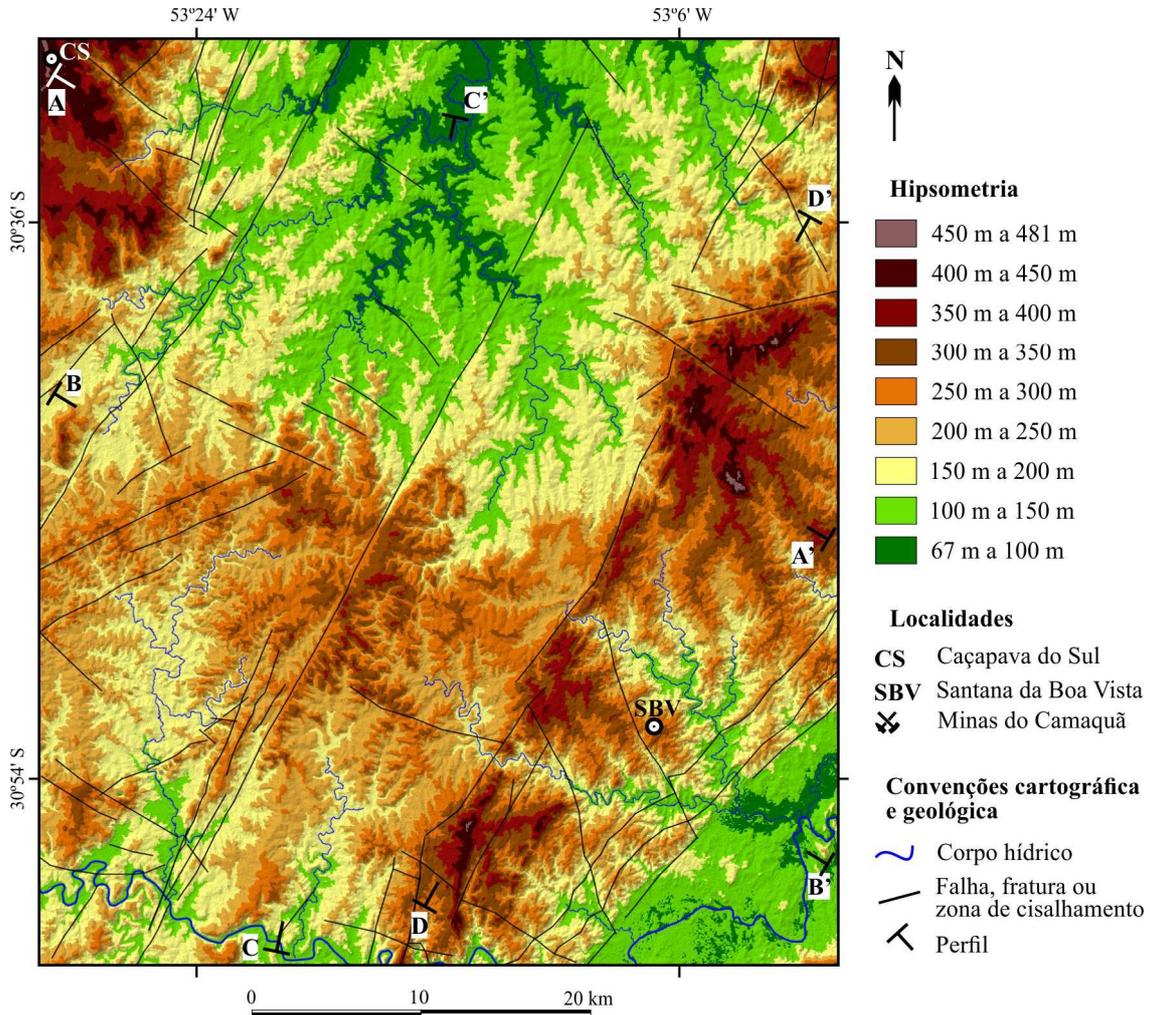
Gráfico 1 – Gráficos relacionados às distribuições de altitudes: a) relação entre o percentual da área e elevação dada pela curva hipsométrica (curva área-altura); e b) histograma das altitudes.



Fonte: Autor.

As maiores cotas ocorrem em duas regiões, no extremo noroeste e no sudeste, esta última restrita a uma faixa com orientação NE-SW, se estendendo do sul para nordeste conforme mostrado na figura 18. A região mais baixa ocorre principalmente no centro-norte. Esta encontra-se intensamente desgastada, decorrente de erosão fluvial, provavelmente estabelecidos desde o Neogeno, que drenam o material para regiões mais baixas. Também é notável o condicionamento do relevo por fraturas e falhas. Conforme figura 18, havendo rupturas altimétricas associadas, principalmente aos lineamentos orientados segundo o *trend* regional NE-SW e de menor ocorrência NW-SE.

Figura 18 - Mapa hipsométrico.



Fonte: autor

Os níveis altimétricos estão claramente associados, principalmente, aos tipos de rochas, de modo que, as maiores cotas altimétricas estão representadas por rochas ígneas e metamórficas e as menores por rochas sedimentares. Essas relações podem ser vistas nos perfis geológicos mostrados na figura 19. Sua configuração espacial é apresentada no mapa hipsométrico da figura 18.

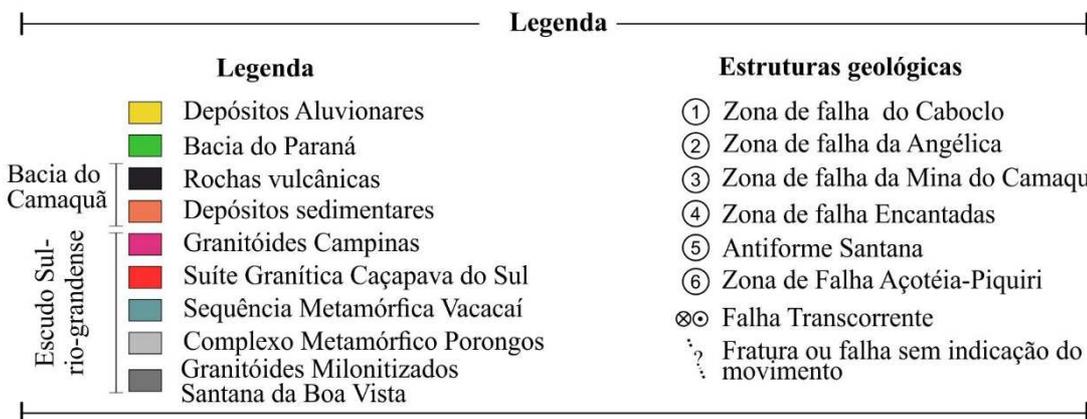
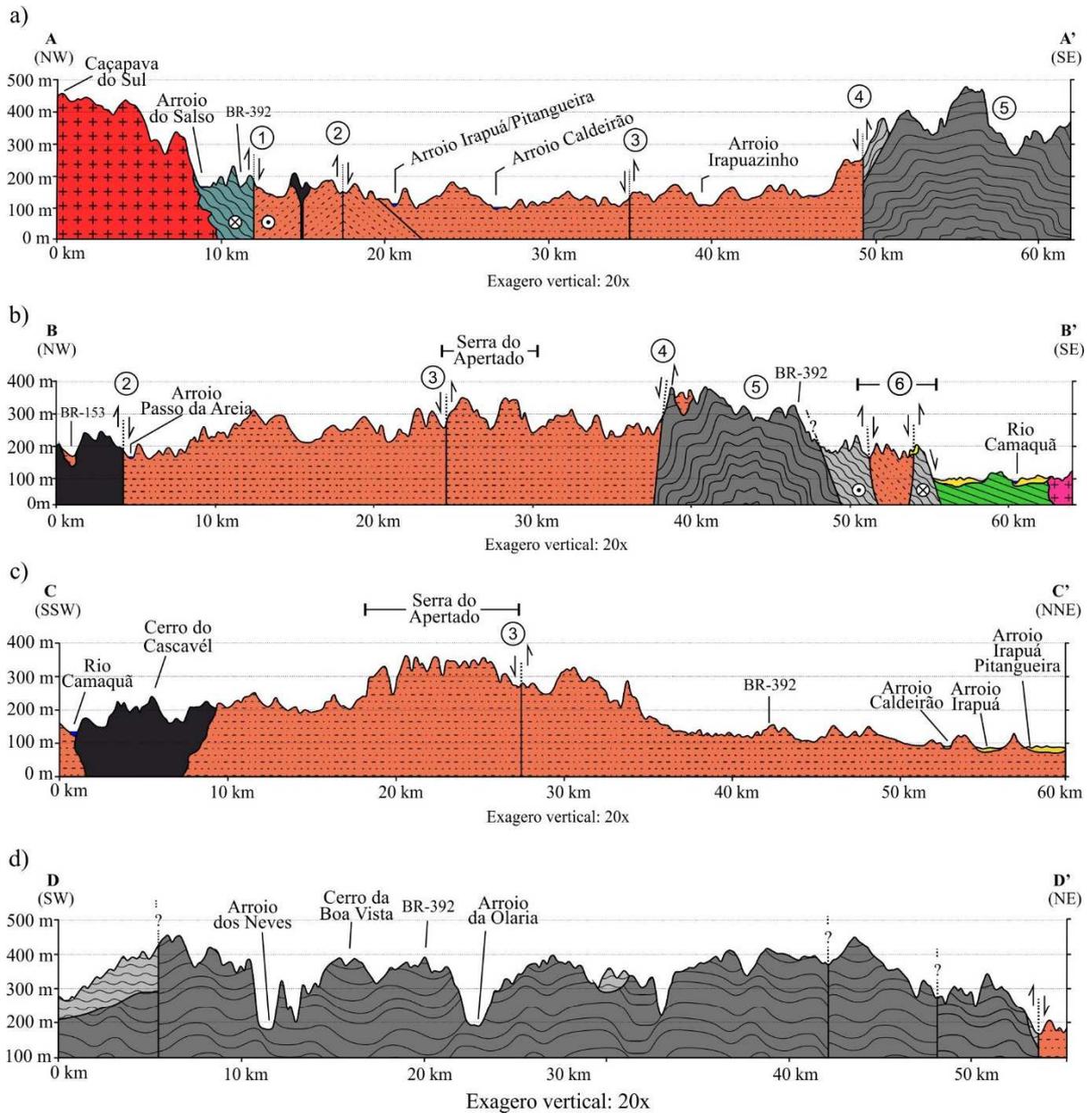
No perfil A-A', de direção noroeste-sudoeste observa-se tal influência, onde as áreas mais elevadas ocorrem nas extremidades do perfil, estando estas associadas a rochas ígneas e metamórficas que representam os relevos com maior energia. As menores cotas altimétricas são representadas por rochas sedimentares, sendo constituídas por um relevo suavemente ondulado a ondulado, marcado por superfícies erosivas semelhantes e intensamente denudada em relação às demais. Estas rochas sedimentares estão arranjadas como blocos rebaixados limitados de ambos os lados por zonas de falhas, semelhante a um graben, o que sugere

relações destas falhas com rebaixamento ou soerguimentos das demais regiões, como evidenciado por Almeida (2005) e Marcornato (2010). Essas características estruturais também são observadas no perfil B-B' de mesma orientação mostrado na figura 19b.

No perfil B-B', que transecta a área na direção noroeste-sudoeste, aproximadamente no centro da área, é demonstrada as regiões mais elevadas associadas às rochas sedimentares. Esta encontra-se moderadamente mais rebaixada em relação a unidade morfoestrutural ESRG, que por sua vez é representado por um alto do embasamento confinado por falhas em ambos os lados, sendo que a sudeste ocorrem falhamentos complexos escalonados com estruturas de grabens associados e preenchidos por sedimentos da Bacia do Camaquã. No extremo noroeste encontra-se os relevos mais baixos do perfil, representados por sedimentos da Bacia do Paraná. Neste perfil, as rochas da unidade Morfoestruturais da Bacia do Camaquã compreende uma superfície de interflúvio, com erosão modestamente areolar, conforme mostrado no mapa hipsométrico da figura 18. O perfil C-C' de direção NNE-SSW corta esta superfície transversalmente, onde é possível observar um maior arrasamento da superfície na porção Norte-nordeste com frequente entalhamento das drenagens.

O perfil D-D' foi elaborado sobre as maiores cotas altimétricas da região, ao qual se dispõem segundo um *trend* SW-NE no centro sudeste da área. É evidente que as superfícies apresentam-se mais elevadas e com níveis de erosão semelhantes, interrompidos por entalhamento dos principais rios que cortam esta estrutura conforme figura 19d.

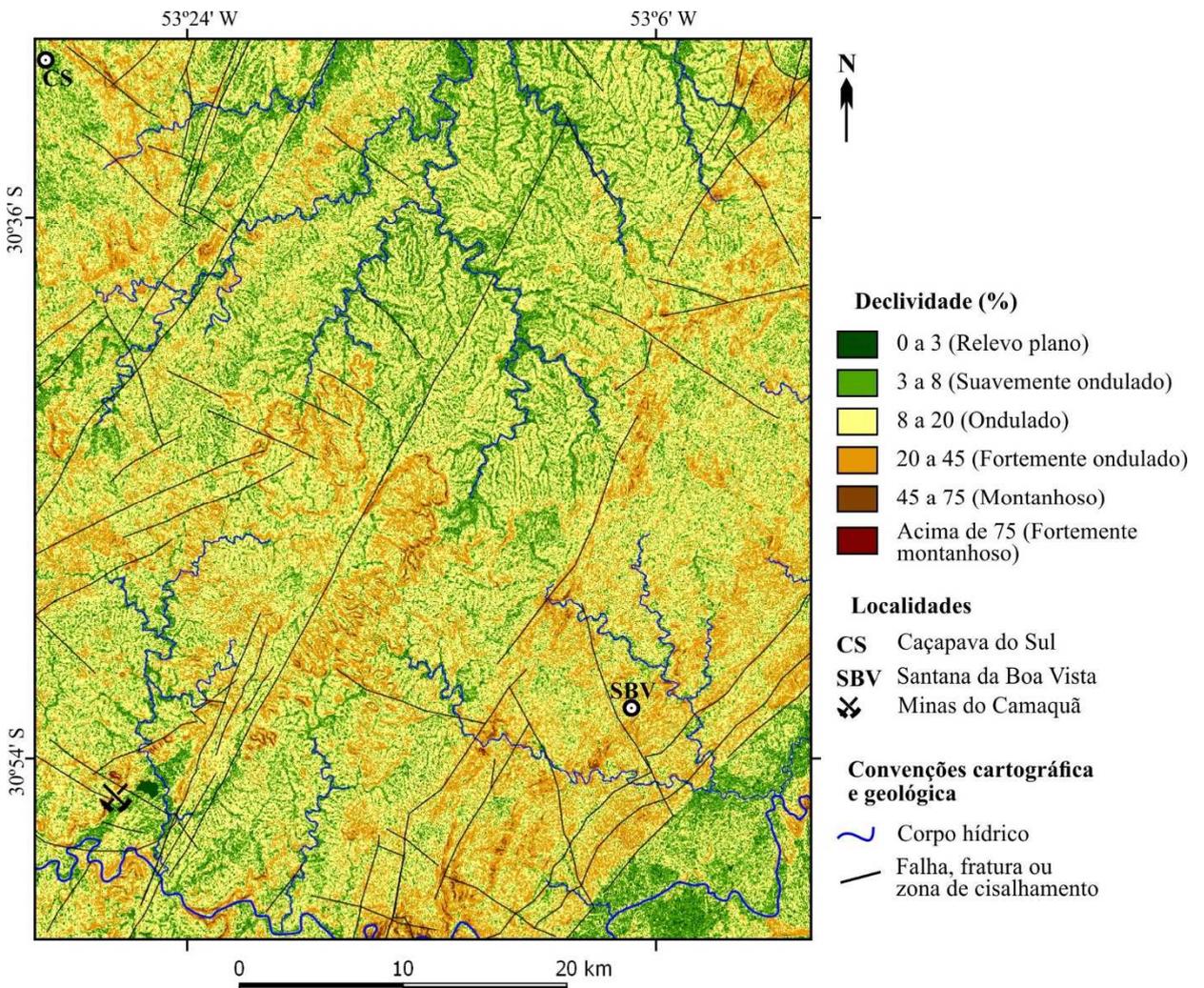
Figura 19 – Perfis topográficos das unidades geológicas da área de estudo.



Fonte: autor

A região de estudo é formada por relevos suavemente ondulados a fortemente ondulados, localmente montanhoso, ocorrendo relevos planos em pequenas superfícies junto a corpos hídricos gerados por confluência de rios maiores. No geral, predominam relevos ondulados a fortemente ondulados com declividade variando entre 8% a 45%. No centro da área, as maiores declividades ocorrem contornando pequenas áreas de declividade menor, enquanto que nas demais acontecem de forma alongada, conforme os lineamentos presentes. As menores declividades estão bem representadas na porção norte e extremo sudeste da área, onde estão associadas aos maiores depósitos aluvionares. O mapa com a declividade da área ora estudada pode ser visualizado na figura 20.

Figura 20 - Declividade da área de estudo



Fonte: autor

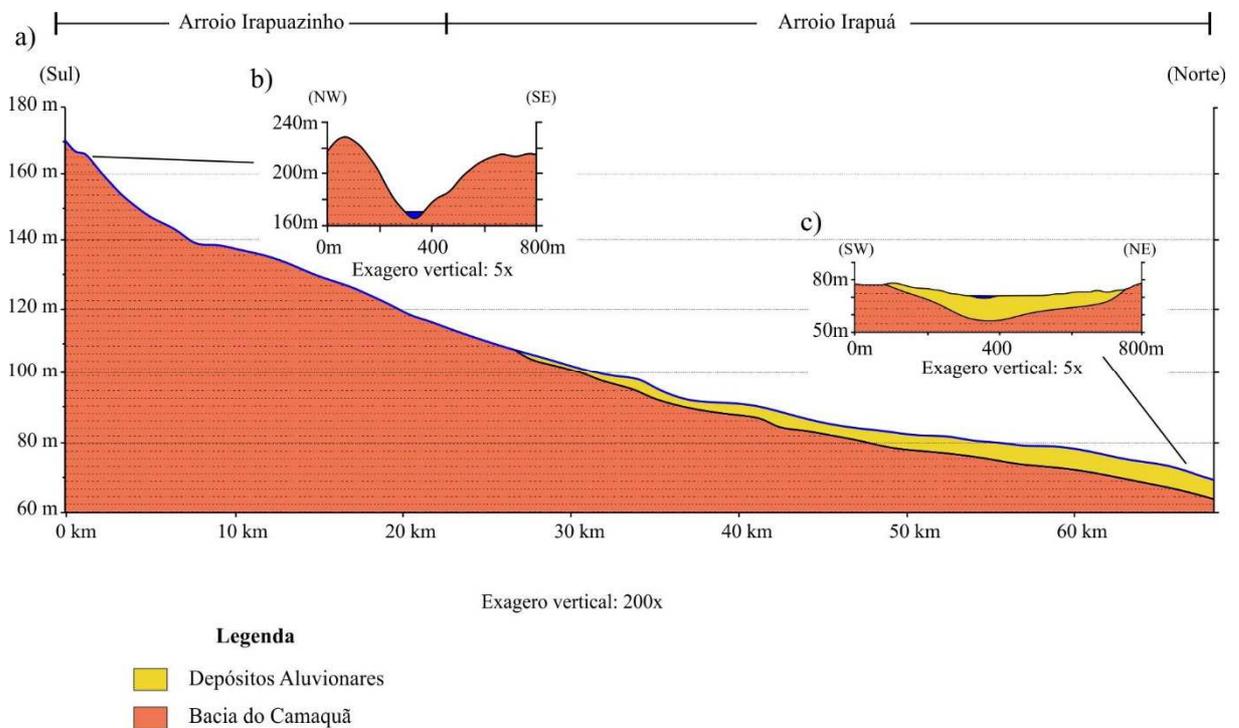
Analisando a declividade do perfil longitudinal do arroio Irapuá, através da equação

(1)

$$\text{Declividade} = \frac{\Delta H}{L} \quad (1)$$

onde,  $\Delta H$  representa a amplitude altimétrica; e  $L$  o comprimento do curso d'água, constata-se que este rio, principal da sub-bacia Alto Irapuá, possui uma declividade de 1,4 m/km. Os resultados obtidos apontam pouca variação no canal fluvial deste rio, com apenas uma pequena ruptura no perfil em seu curso superior, conforme mostrado na figura 21a. Essa moderada variação pode ser devido a homogeneidade litológica do seu substrato, com algumas variações eventualmente decorrente da presença de fraturas ou falhas não identificadas. Também é possível avaliar através das figuras 21b e 21c o seu caráter de entalhamento, onde no seu curso superior, a sul, apresenta um leito fluvial encaixado entre vertentes altas e íngremes com forte grau de entalhamento, o que não acontece em seu trecho localizado no extremo norte, sendo este, representado por amplos leitos delimitado por baixos terraços fluviais num relevo relativamente plano onde predominam depósitos aluvionares com espessuras inferidas.

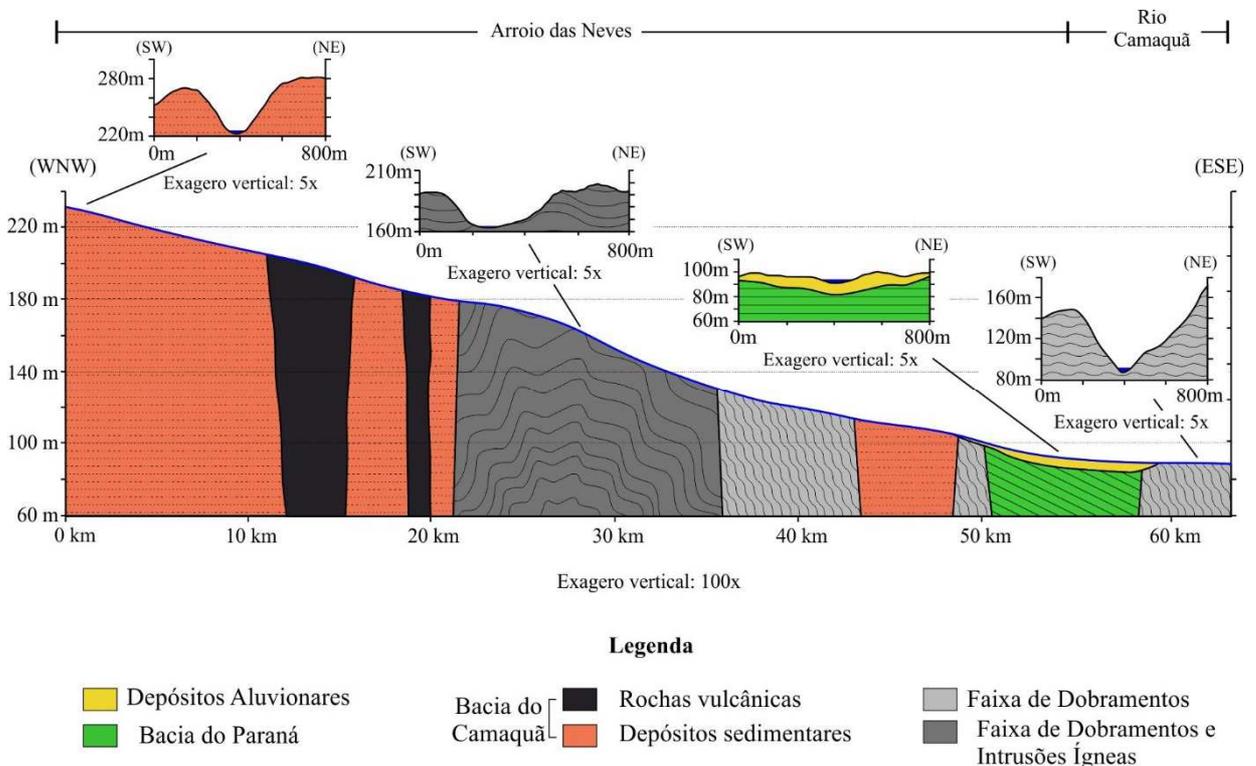
Figura 21 - Perfis longitudinal e transversais dos arroios Irapuazinho e Irapuá



Fonte: autor

O arroio das Neves, rio que transecta o maior número de tipos de rochas, possui uma declividade de 2,2 m/km e apresenta algumas rupturas claramente relacionadas à mudança litológica e/ou a sistemas de fraturas ou falhas conforme figura 22. Partindo do seu curso superior, a primeira significativa ruptura de declive no perfil longitudinal, ocorre em seu curso médio, ao passar de um substrato rochoso composto por rochas sedimentares para rochas metamórficas, sofrendo uma redução na inclinação, e posteriormente um acréscimo que permanece relativamente homogêneo até atingir rochas sedimentares em seu curso inferior, onde, novamente, sofre outro decréscimo significativo na inclinação e conseqüentemente desaceleração do fluxo e deposição de sedimentos aluviais.

Figura 22 - Perfil longitudinal do arroio das Neves e um pequeno segmento do rio Camaquã



Fonte: autor

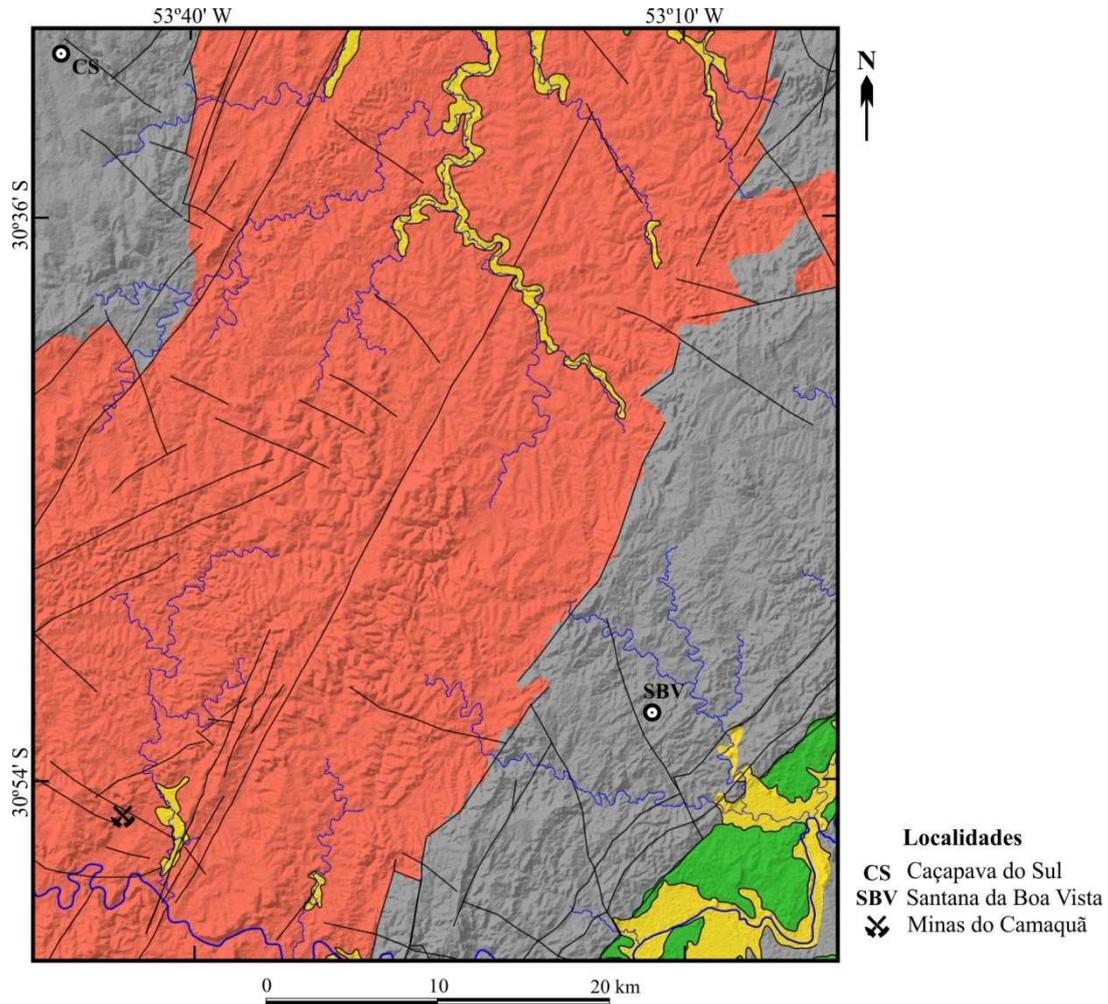
Em relação ao seu grau de entalhamento, o arroio das Neves possui forte grau em seu curso superior, onde predominam rochas sedimentares, passando para fraco nas rochas metamórficas em seu curso médio e atinge um grau de entalhamento muito fraco em seu baixo curso sobre a morfoestrutura Bacia do Paraná, neste mesmo trecho, o arroio das Neves desemboca no rio Camaquã. Ao desloca-se sobre rochas metamórficas o rio Camaquã tem seu grau de entalhamento acrescido, passando a ser de médio a forte.

## 9.2 Taxonomia do relevo

De acordo com os princípios metodológicos adotados alcançou-se a hierarquização da compartimentação geomorfológica em quatro níveis taxonômicas, são eles: o 1º táxon das morfoestruturas; o 2º táxon das morfoesculturas; o 3º táxon dos modelados; e 4º táxon que corresponde as formas de relevo individualizadas dentro de cada modelado (3º táxon), aqui tido como os topos dos acidentes geomorfológicos. Destes níveis, exclusivamente as morfoestruturas e os modelados foram cartografados, os demais foram apenas investigados e tiveram seus conjuntos de elementos descritos, sem o propósito, neste estudo, de investigar o conjunto de eventos históricos que moldaram esta região, ainda sim, suposições admissíveis serão apontadas.

A compartimentação morfoestrutural foi realizada em conformidade com a escala e a natureza litológica e tectônica, permitindo identificar quatro morfoestruturas, são elas; Escudo Sul-Rio-Grandense, Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná e Depósitos Alúvio-coluvionares, conforme mostrados na figura 24, suas áreas relativas podem ser visualizadas na figura 25. Dentro destes domínios foram identificadas e descritas sete unidades morfoesculturais, são elas: Planalto Sedimentar Residual, Planalto Sedimentar Rebaixado, Planalto Cristalino Residual, Planalto Cristalino Rebaixado, Serra de Santana, Planície Alúvio-coluvionar e Depressão Arroio Moirão.

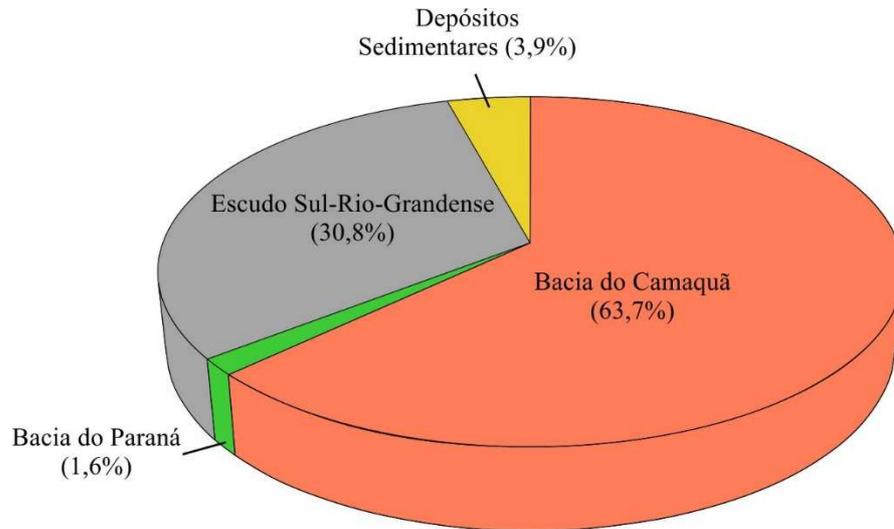
Figura 23 - Domínios morfoestruturais da área de estudo



Domínios Morfoestruturais	Domínios Morfoesculturais
Depósitos Sedimentares	Depósitos Alúvio-cóluvionares
Bacia do Paraná	Depressão Arroio Moirão
Bacia do Camaquã	Planalto sedimentar residual Planalto sedimentar rebaixado
Escudo Sul-rio-grandense	Planalto cristalino residual Planalto cristalino rebaixado Serra de Santana

Fonte: autor

Figura 24 - Tamanho relativo dos domínios morfoestruturais identificados na área de estudo



Fonte: autor

### 9.2.1 Unidade Morfoestrutural do ESRG

O Domínio Morfoestrutural do ESRG abrange uma superfície de 820 km<sup>2</sup>, que representa 30,8% da área total estudada. Ocorre em descontinuidade espacial, sendo representado por três segmentos localizados extremo noroeste, no sudeste e no extremo sudeste. Tem sua maior extensão em área na porção sudeste, onde ocorre como faixas contínuas e outras descontínuas que se prolongam na orientação NE-SW. Neste domínio foram identificados três morfoesculturais conforme mostrado na tabela 3.

A denominação deste domínio morfoestrutural se remete às características de porções do Escudo Sul-Rio-Grandese, ao menos na área estudada, de ocorrerem como faixas orientadas, comumente dobradas e associadas a intrusões de batólitos e *stocks* de idade Pré-cambriana.

Tabela 3 - Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Escudo Sul-Rio-Grandense.

1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon	Morfometria	
Morfoestrutura	Morfoescultura	Formas de relevo	Tipos de relevo	Declividade (%)	Altimetria (m)
Escudo Sul-Rio-Grandense (820,0 km <sup>2</sup> )	Serra de Santana	Cristas e serras alongadas	Topos aguçados	20 a 75	340 a 480
		Colinas e morros alongados	Topos aguçados	20 a 75	300 a 370
			Topos convexos	20 a 75	340 a 410
		Vales	Fundo côncavo	45 a 75	-
			Fundo em «V»	45 a 75	-
		Planalto cristalino residual (setor noroeste)	Colinas amplas e baixas	Topos tabulares	8 a 45
	Topos convexos			8 a 45	300 a 460
	Vales		Fundo em «V»	20 a > 75	200 a 380
	Planalto cristalino rebaixado (setor noroeste)	Morros e colinas	Topos tabulares	3 a 20	200 a 240
			Topos convexos	8 a 45	280 a 340
		Morros alongados	Topos aguçados	8 a 45	200 a 250
		Vales	Fundo côncavo	45 a 70	-
			Fundo chato	45 a 75	-

Fonte: autor

### 9.2.1.1 Setor Noroeste

Este setor corresponde a uma área alongada N-S representada pela morfoescultura de um planalto com características, principalmente residuais e localmente rebaixadas. Este setor possui uma área de 177 km<sup>2</sup>, que corresponde a 22% da área do domínio. O relevo foi esculpido em rochas graníticas e metamórficas (ardósias, filitos e xistos). As rochas graníticas representam ampla área elevada, onde se registram as maiores cotas altimétricas deste setor, atingindo 460 m de altitude. Nesta região está situada a cidade de Caçapava do Sul. As rochas metamórficas que circundam as rochas graníticas são caracterizadas por um relevo topograficamente mais baixo correspondendo a uma zona de transição, ao qual faz conexão entre relevos altos e baixos, ambos representados pelas rochas graníticas e pela morfoestrutura Bacia do Camaquã respectivamente. Os processos exógenos, especialmente fluviais, promoveram a recessão das encostas em regiões amplas e isoladas desta faixa,

desenvolvendo, assim, um relevo mais baixo que corresponde a Morfoescultura Planalto Rebaixado, ao passo que os mais altos ao Planalto Residual.

A Morfoescultura Planalto Residual de Caçapava corresponde a uma unidade geomorfológica com baixo a médio índice de dissecação (Dc21, Dc31), separada por área de relevo mais dissecado. Em alguns trechos que circundam esta unidade a dissecação por ravinamento (Dr) conseguiu alargar extensos vales configurando-se por áreas com sucessões de amplas colinas isoladas entre si por estes vales de fundo côncavo, que representam antigos nichos de erosão, atualmente com cobertura vegetal de campos. Os topos das colinas, geralmente, são côncavos, observando-se rupturas de declives nas encostas.

Na porção centro-leste o controle estrutural é evidenciado na rede hidrográfica através do encaixamento dos arroios Mangueirão e Salso, que possuem suas nascentes nesta unidade geomorfológica, próximas à cidade de Caçapava do Sul. Tais cursos fluviais seguem as orientações das linhas estruturais, que apresentam preferencialmente orientações para o quadrante noroeste. As maiores declividades são encontradas nas encostas destes vales que atingem mais de 75%. No geral a rede de drenagem apresenta um padrão sub-dentrítico com tropia tridirecional e sinuosidade mista predominando trechos retilíneos, ocorrendo também sinuosidade abrupta, retratada pelo controle estrutural. O ângulo de junção dos canais varia de obtuso a alto, com predomínio de alto

A Morfoescultura Planalto Rebaixado, de modo geral, é composta por uma superfície ondulada com modelados de dissecação predominantemente homogênea de topos aguçados (Da31), representados por morros pouco alongados na região norte, e por amplas colinas de topos convexos (Dc33) na região sudeste, bem como amplas colinas de topos tabulares (Dt) na sul.

Do mesmo modo que o Planalto Residual, o Planalto Rebaixado encontra-se seccionado por vales de fundo côncavos e planos. As maiores cotas altimétricas, ocorrendo nas proximidades do contato com Domínio Morfoestrutural do Batólito, registram valores acima de 400 m de altitude. Esses valores diminuem em direção ao Domínio Morfoestrutural da Bacia do Camaquã, atingindo valor de 190 m de altitude em alguns trechos. Sendo que as maiores cotas estão associadas aos topos convexos.

#### **9.2.1.2 Setor Sudeste**

Neste setor o relevo foi esculpido em rochas metamórficas do Complexo Encantadas (Gnaisses e Metagranitos) que abrange o centro da área ao qual é circundado, em partes, por

rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos. Do ponto de vista geomorfológico constitui-se de uma Serra alongada e retilinizada na direção NE-SW, alargando-se para NE onde se registram as maiores cotas altimétricas.

A complexidade da estrutura geológica se revela no relevo através de saliências, que assinalam a justaposição de camadas dobradas de resistências diferentes, configurando marcas de enrugamento. Destacam-se também relevos fortemente ondulados com controle estrutural marcante incrustado em meio a formas de relevo com colinas, cristas e morros alongados com topos, de modo geral, convexos, ocorrendo isoladamente topos aguçados configurando cristas alongadas e retilíneas, podendo estar associadas às cristas isoclinais ou *hogbacks*, visto que, nessa região ocorrem antifomes e sinformes locais associadas a uma antiforme regional com eixo orientado para NE-SW e extensas zonas de cisalhamentos de mesma orientação. As vertentes são íngremes em alguns trechos, com manto de alteração pouco espesso ocorrendo muitas vertentes com afloramento rochoso coincidindo com camadas resistentes, dobradas e truncadas por erosão e posteriormente dissecada, com forte a médio aprofundamento dos vales.

As maiores cotas altimétricas são registradas na porção mais ocidental, onde o relevo é de maior energia, com valores superiores a 470 m de altitude, que decaem gradativamente para valores inferiores a 200 m nas regiões mais orientais até atingir a escarpa de falha intensamente erodida, que limita esta morfoescultura com a planície do Domínio da Bacia do Paraná. O relevo mais rebaixado desta Serra, porção oriental, ocorre como resultado de dissecção fluvial, pelos principais rios que transectam a morfoescultura.

Este setor apresenta diferentes formas de relevo, desde aquelas controladas pela estrutura (DEc), portanto de caráter diferencial, até a ocorrência de modelados de dissecção homogêneos, ambos com diferentes índices de dissecção. Os mais altos são encontrados na porção ocidental de caráter essencialmente estrutural associados a morros estreitos, alongados e curvados de topos convexos (DEc34, DEc44, DEc54) como também aguçados (DEa33, DEa23). Enquanto que a porção oriental apresenta relevo mais suave com declividade variando de 8% a 20% sendo representada por padrões de formas de colinas e morros baixos e alongados de topos convexos e índice de dissecção com valores de altos à baixos (DEc44, 33,43,22). Neste segmento, onde as redes de drenagem, às condicionantes estruturais, promoveram dissecção do tipo diferencial entremeadas por superfícies de acumulação (Arc) relacionadas aos principais cursos de água.

Os principais arroios que drenam a área do domínio correspondem aos afluentes do curso médio do rio Camaquã, que fluem para sudeste, os mais importantes são o das Neves,

Olaria, Moinho e Belizário, por serem os maiores tributários. Esses arroios têm suas nascentes em áreas de planaltos, a noroeste do domínio. A rede de drenagem possui padrão sub-dendrítico, muitas vezes se adaptaram a linhas de fraqueza, contato litológico ou zona de cisalhamento, originando assim padrões sub-paralelos, bem como vales ou sulcos estruturais. Geralmente esses cursos apresentam planícies fluviais em seu baixo curso ou correm encaixados em terraços fluviais, conforme pode ser visto na figura 22. Na região norte rede de drenagem apresenta tropia tridimensional com médio grau de integração e padrões, localmente, paralelo e em treliça, também ocorrem com geometria radial. Possuem alta sinuosidade com geometrias mistas a retilíneas de angulosidade média a alta e ângulos de junções predominantemente retos

### **9.2.2 Unidade Morfoestrutural da Bacia do Camaquã**

A unidade Morfoestrutural Bacia do Camaquã equivale a uma superfície de 1.695,2 km<sup>2</sup>, que corresponde a 63,7% da área estudada. Este domínio forma uma ampla faixa de rocha, sobretudo sedimentar, que apresenta entre si certa uniformidade de direção NE-SW, com cerca de 60 km de comprimento por 30 km de largura, sendo limitada a noroeste e a sudeste por rochas metamórficas de altitudes mais elevadas e incluídas no Domínio da Faixa de dobramentos e intrusões ígneas figura 19a. Os táxons desta estrutura são mostrados na figura (táxons)

Tabela 4 - Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Bacia do Camaquã.

1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon	Morfometria	
Morfoestrutura	Morfoescultura	Formas de relevo	Tipos de relevo	Declividade (%)	Altimetria (m)
Bacia Sedimentar do Camaquã (1.662,9 km <sup>2</sup> )	Planalto Sedimentar rebaixado	Colinas amplas e baixas	Topos convexos	8 a 30	100 a 300
			Topos aguçados	8 a 45	180 a 350
	Planalto Sedimentar residual	Morros e amplas colinas	Topos convexos	20 a 65	250 a 375
			Topos aguçados	20 a 75	200 a 370
		Amplas colinas	Topos tabulares	3 a 20	260 a 300
			Fundo em «V»	45 a > 75	-
		Vales	Fundo chato	45 a 75	-
			Fundo côncavo	20 a 75	-

Fonte: autor

Este domínio é composto, em quase sua totalidade por planaltos dissecados e rebaixados com diferente intensidade de dissecação e por rampas de colúvio desenvolvidas sobre rochas sedimentares horizontais a sub-horizontais, eventualmente dobradas e falhadas, em ambientes de sedimentação diversos.

O planalto residual, localizados aproximadamente no centro da faixa, corresponde aos relevos mais elevados desta morfoestrutura, onde alcançam 370 m de altitude e formam uma área interfluvial entre duas sub-bacias hidrográficas, uma a sul e outro a norte, que drenam para os rios Camaquã e Jacuí respectivamente, esta região interfluvial pode ser visualizada na figura 19c. A destruição da superfície de interflúvio, em grande extensão, demonstra expressiva dissecação de caráter areolar. As condicionantes estruturais influenciaram a rede de drenagem a promover uma dissecação do tipo diferencial, cujos alinhamentos estruturais em alguns trechos estão evidenciados através de vales ou sulcos estruturais. Nesta morfoescultura o relevo é de alta energia, com formas alongadas de topo convexo e vertentes íngremes em média, com alto índice de dissecação estrutural e topos predominantemente aguçados (DEa34, DEa33, DEa44) e convexos (DEc44, DEc34) e declividade variando de 8% a 75%, com predominância de 20% a 45% nos relevos mais altos, onde ocorrem localmente declividades que chegam a 75% nessas regiões.

A Morfoescultura Planalto Rebaixado, compreende as regiões com cotas altimétricas inferiores a 200 m de altitude, que ocorrem ao norte e ao sul do Planalto residual. A região norte possui maior extensão em área e é caracterizado por apresentar amplos modelados de

dissecação homogêneos com formas de relevo representadas por amplas colinas e por possuir modelados de acumulação representados por rampas de colúvio (Arc). O avanço destas formas de relevo para norte é marcado por um atenuado desnível altimétrico, até alcançar as unidades das planícies e terraços fluviais com cotas variando entre 80 m a 120 m, localizada no extremo norte da faixa e de extensão em área pouco significativa (perfis figura 19c). Nesta região o relevo apresenta-se sem grandes variações altimétricas, onde dominam formas alongadas de topo convexo, conhecidas como coxilhas (denominação no RS para colinas) e de baixa declividade. Ao lado dessas formas, ocorrem superfícies relativamente planas, rampeadas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente e declividade variando entre 0% a 8%.

A Sul da Morfoestrutura Planalto Residual, o Planalto Rebaixado possui uma superfície menor e topograficamente mais elevada, que a região norte desta morfoescultura, conforme mostrado no perfil da figura 19b, entretanto mais acidentada e com limites bastantes irregulares, em virtude a interação entre vários processos erosivos, com predomínio do fluvial que se mostra controlado, em alguns casos, pelas estruturas das rochas. As cotas altimétricas variam de 120 m a 200 m, ocorrendo cotas de 250 m em determinados lugares relacionadas a cerros residuais

Esta superfície é marcada quase inteiramente por modelados de dissecação homogêneos, onde predominam padrões de formas de relevo, representados por colinas e morros de topos aguçados e interflúvios alongados com topos convexos. Os índices de dissecação deste setor são Dc44, Da33, Da33. Ocorrendo também dissecação estrutural em lugares isolados nos extremos sudoeste e sudeste desta morfoescultura, com índices DEa32 e DEc34 respectivamente. Essas formas ocorrem entremeadas por modelados de acumulação representados principalmente por rampas de colúvio associadas aos principais afluentes do rio Camaquã agrupadas na Morfoestrutura Sedimentos. Em alguns trechos o rio Camaquã e alguns de seus afluentes seccionam amplas colinas por vales com aprofundamentos que variam de 50 m a 100 metros, de modo que, a declividade das vertentes nesses trechos segmentados ultrapassem os 75%.

O padrão da rede de drenagem, no geral, é dendrítico a sub-dendrítico, ocorrendo também formas radiais no centro da área e, localmente padrões paralelos, principalmente nos locais próximos as falhas regionais, como por exemplo ao longo da falha Minas do Camaquã. As drenagens possuem tropia principalmente multidirecionais ordenadas e localmente bidimensionais, ocorrendo preferencialmente nas adjacências das principais falhas regionais.

Possui ainda sinuosidade mista com média angularidade e baixo a médio grau de integração, como também ângulos de junções retos a obtusos.

### 9.2.3 Unidade Morfoestrutural da Bacia do Paraná

A unidade Morfoestrutural da Bacia do Paraná, localizada no extremo sudoeste da área, possui uma superfície de 42,4 km<sup>2</sup> compreendendo um pequeno segmento do Graben Arroio Moirão, que possui aproximadamente 500 km<sup>2</sup>, sendo preenchido por rochas sedimentares da Bacia do Paraná de idade Permo-triássica e estão preservadas de forma isolada sobre o ESRG. Para Noroeste, está em contato com regiões mais altas do Domínio Morfoestrutural da Faixa de Dobramentos e intrusões ígneas, através de um relevo escarpado de direção NE-SW e intensamente erodido e marcado, em algumas regiões, por um desnível altimétrico significativo, conforme mostrado no perfil da figura 19b. Este domínio corresponde a uma única morfoescultura denominada Depressão, conforme mostrado na tabela 5.

Do ponto de vista geomorfológico, traduz-se em uma depressão relativamente pequena e plana com amplitude altimétrica de 80 m e cotas raramente ultrapassando os 150 m. Possui declividade entre 3% a 20% caracterizando um relevo suavemente ondulado a ondulado. Tal morfoescultura é composta quase que inteiramente por modelados de acumulação representados pelas rampas de colúvio. Em alguns trechos isolados ocorrem modelados de dissecação representados por amplas e baixas colinas com topos convexos, por vezes isoladas, com altimetrias que variam, de modo geral, de 150 m a 230 m.

Tabela 5 – Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Bacia do Paraná.

1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon	Morfometria	
Morfoestrutura	Morfoescultura	Formas de relevo	Tipos de relevo	Declividade (%)	Altimetria (m)
Bacia Sedimentar do Paraná (42,4 km <sup>2</sup> )	Depressão Arroio Moirão	Rampas de colúvios	Topos planos levemente inclinado	3 a 8	100 a 150
		Colinas amplas e baixas	Topos convexos	8 a 20	150 a 230

Fonte: Autor

Os principais rios que drenam a área do domínio correspondem aos afluentes do curso médio do rio Camaquã, que fluem para Sudeste, com destaque para os arroios dos Neves e

Areão, por serem os maiores tributários. Esses arroios têm suas nascentes em áreas planálticas e serranas, a noroeste do domínio. Geralmente apresentam planícies fluviais ou correm encaixados em terraço fluviais.

#### 9.2.4 Unidade Morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares

Este domínio corresponde a uma superfície de 104,7 km<sup>2</sup>, que equivalem a 3,9% da área estudada. Refere-se às áreas de exposição dos depósitos sedimentares mais recentes, do Quaternário. Constitui-se de estreitas e alongadas planícies de baixa altitude. Desenvolvendo-se de forma descontínua ao longo dos médios e baixos cursos dos principais rios com ocorrência nas regiões a norte, sudeste, sul e sudoeste. A altimetria varia, de modo geral, entre 67 m e 150 m, predominando áreas com altitudes abaixo dos 100 m. O domínio corresponde a uma única unidade morfoescultural denominada Planície Alúvio-coluvionar, conforme mostrado na tabela 6.

Tabela 6 – Táxons geomorfológicos da Morfoestrutura Depósitos Sedimentares.

1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon	Morfometria	
Morfoestrutura	Morfoescultura	Formas de relevo	Tipos de relevo	Declividade (%)	Altimetria (m)
Depósitos Sedimentares (104,7 km <sup>2</sup> )	Planície alúvio-coluvionar	Terraços fluviais	Topos planos	0 a 8	70 a 100
		Planícies de inundação	Fundos planos	0 a 3	80 a 90
		Rampas de colúvios	Topos planos	3 a 8	100 a 150

Fonte: autor

Do ponto de vista geomorfológico esta unidade morfoescultural é caracterizada por modelados de acumulação fluvial representados, em ordem decrescente de área, por rampas de colúvio, terraços fluviais e planícies de inundação (Arc, Atf, Ai), todos os modelados possuem uma baixa declividade, com superfícies planas a levemente ondulada.

Na região norte esta unidade ocorre ao longo do alto e médio curso do arroio Irapuá e secundariamente ao baixo curso do arroio Caldeirão recebendo contribuição de áreas fontes a sul, leste e oeste, já na região sudeste esses depósitos ocorrem ao longo do baixo curso dos arroios das Neves e Olaria e mais proeminentemente do rio Camaquã, recebendo contribuição de regiões planálticas e serranas localizadas a noroeste. Enquanto que no sul esses depósitos ocorrem associados ao arroio João dias e, secundariamente ao arroio Pessegueiro a

contribuição de sedimentos provém de áreas fontes a norte, no Planalto Residual localizado no centro da área, onde parte desse material encontra-se depositado em alguns trechos, antes de desembocar no rio Camaquã. De acordo com Justus; Machado; Franco, (1986), esses depósitos compreendem materiais aluvionares, detrítico coluvial dentre outros.

Analisando os perfis longitudinais dos arroios Irapuá na figura 21 e das Neves na figura 22, que representam os principais corpos d'águas que drenam material para a região norte e sudeste, respectivamente, observa-se que esses sedimentos fluviais são depositados principalmente em discontinuidades topográficas criadas por mudanças litológicas no caso do arroio das Neves e por diminuição do gradiente topográfico devido à concavidade da superfície ou por falhas no caso do arroio Irapuá.

Os principais rios que drenam a área do domínio correspondem aos afluentes do curso médio do rio Camaquã, que fluem para Sudeste, com destaque para os arroios dos Neves e Areão, por serem os maiores tributários. Esses arroios têm suas nascentes em áreas planálticas e serranas, a noroeste do domínio. Geralmente esses cursos apresentam planícies fluviais ou correm encaixados em terraço fluviais.

## **10 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS**

O padrão de uma paisagem é derivado de sua composição (os tipos de elementos que ela contém), sua estrutura (como eles estão dispostos no espaço) e seu comportamento (como ele se ajusta ao longo do tempo aos vários impulsos de mudanças. A grande variedade de estruturas geológicas de diferentes litologias e idades que se observa na área estudada, possibilitou a distinção e compartimentação de uma gama de formas de relevo. Isto deve-se principalmente a dois fatores, a escala e a noção de morfoestrutura.

O primeiro fator, de conhecimento generalizado devido sua obviedade, permite afirmar que o relevo varia de acordo com o tamanho da área considerada. Dependendo da área de pesquisa e da escala de análise, pode-se encontrar uma vasta quantidade de superfícies ou níveis morfológicos embutidos uns nos outros.

O segundo fator leva em conta o arcabouço geológico determinado pela natureza das rochas e pela tectônica. A noção de morfoestrutura está extremamente vinculada à influência da estrutura geológica na gênese das formas (ROSS, 1985). Esses fatores sob efeitos climáticos variáveis ao longo do tempo geológico, geram amplos conjuntos de relevos com

características próprias, cujas feições embora diversas, guardam, entre si, as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram (IBGE, 2009).

Conforme discutido na seção (Seção 6) os trabalhos geomorfológicos mais importantes que abrangem a região ora estudada foram mapeamentos em escalas regionais. A pesquisa geomorfológica sistemática desenvolvida na escala 1:250.000 e publicada na escala 1:1.000.000 pelo projeto RADAMBRASIL no Rio Grande do Sul (JUSTUS, MACHADO e FRANCO, 1986), compartimentou o ESRG em um único domínio ou unidade morfoestrutural denominado Embasamentos em Estilos Complexos, sendo composto por uma única unidade Morfoescultural denominado Planalto Sul-Rio-Grandense. Entretanto, o trabalho de mapeamento geomorfológico elaborado na mesma escala (1:250.000) por Marth (2017) exclusivamente no ESRG, compartimentou-o em nove morfoesculturas, incluindo, planaltos, patamares, relevos residuais e depressões. Algumas das quais com clara correspondência entre as formas de relevo e os tipos de rochas, entretanto, tidas como parte de uma única Morfoestrutura. No que tange a taxonomia morfológica do ESRG, os trabalhos supracitados possuem uma característica em comum, ambos englobam todas as rochas e estruturas que ocorrem internamente aos limites geográficos do ESRG em uma única morfoestrutura, desde rochas de idades Paleoproterozóica e Neoproteróico até as rochas Cretáceas pertencente a Bacia do Paraná. Este procedimento generalista, em razão da escala, mascara a influência da resistência à erosão dos diferentes tipos de rochas e suas formas de relevo associadas. Essa influência encontra-se explícita a partir do 2º parágrafo da seção 9.1, como também nos perfis geológicos mostrados na figura 19. Isso leva a outro fato de grande complexidade, conforme observado por Ross (1992), que é o de discernir os níveis de representação dos fatos geomórfico em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida. Além do mais, considerando que os procedimentos a partir de SIGs para aquisição dos dados apresentam subjetividade, é possível inferir que diferentes análises de uma mesma área, sob diferentes medidas, resultem em diferentes classificações, mesmo tomados sob o mesmo referencial metodológico (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2008).

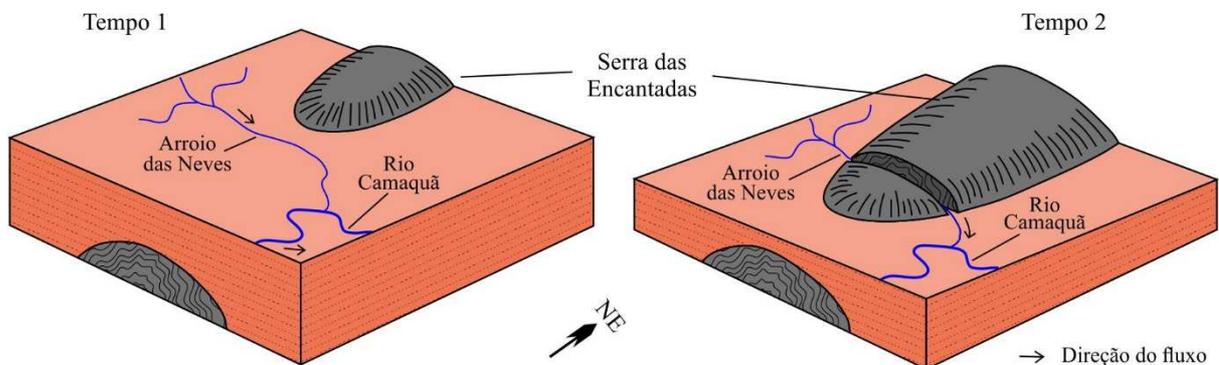
## **10.1 Drenagens**

Analisando a rede e os padrões de drenagens da área de estudo, verifica-se que alguns dos principais arroios fluem de forma anômala à da estrutura ao qual ocorrem, um exemplo é dado pelo arroio das Neves (vales transversais), onde nota-se que seu substrato possui um

claro controle estrutural alinhado de nordeste para sudoeste, mas este arroio, dentre outros, que cortam esta estrutura, correm de noroeste para sudoeste.

Essas drenagens que cortam de modo transversal o controle estrutural conduz a hipótese de drenagens sobrepostas, ao qual, de acordo com Huggett (2011) ocorre quando uma rede de drenagem estabelecida em uma dada formação geológica é reduzida e é herdada por uma formação geológica sotoposta. O padrão de drenagem sobreposto pode ser discordante com a estrutura da formação sobre a qual é impresso. Isso leva a crer que a atual padrão de drenagem radial encontrado na área de estudo é formado por arroios consequentes que se desenvolveram em resposta da inclinação regional inicial, sem refletir os detalhes da geologia subjacente, ou seja, esse padrão encontrava-se estabelecido antes do surgimento da Serra das Encantadas, que nessa época encontrava-se soterrada e a superfície sobreposta encontrava-se inclinada para sudeste.

Figura 25 - Desenvolvimento de vales transversais à Serra das Encantadas por rios persistentes que cortam ortogonalmente o eixo da anticlinal regional. No tempo 1 é estabelecido uma rede de drenagem; no tempo 2, devido erosão do material sedimentar, o arroio das Neves encontra uma camada mais dura, sua persistência incisa um vale nos estratos resistentes mantendo seu padrão, sem desviar-se desta ou sofrer ajuste significativo.



Fonte: modificado de Huggett (2011).

## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descrição e caracterização das formas da paisagem através de dados, principalmente morfométricos derivados de MDE, permitiu o estabelecimento de uma base de dados satisfatória para estudos geomorfológicos de maior detalhe. Essa abordagem tem o valor de fornecer informações gerais sobre a variabilidade espacial das formas de relevo. Isso serve para formar uma ideia inicial sobre a configuração do terreno, tipos e distribuição de fenômenos geomorfológicos, que pode ser utilizados para estudos morfogenéticos e de processos e problemas que provavelmente surgirão, além de auxiliar no planejamento de uma pesquisa de campo. Cabe ressaltar, entretanto, que as interpretações aqui sintetizadas, embora estejam calcadas nos fatos enumerados, são passíveis de questionamentos.

A folha SH.22-Y-A-V - Caçapava do Sul, com área de 2.662,36 km<sup>2</sup>, apresenta uma superfície suavemente a fortemente ondulada com elevação variando entre 67 m e 481 m, sendo que apenas 20% da área possui altitude superior a 275 m.

O aspecto do relevo compreende modelados de dissecação e acumulação, sendo o primeiro correspondente a mais de 80 % de toda a área. Ambos desenvolvidos sobre rochas de idades Paleoproterozóica a Triássica. A diversidade geológica da área se revela através da paisagem fortemente trabalhada por agentes erosivos, formando uma ampla área desgastada composta por colinas e morros com diferentes tipos de modelados de dissecação, principalmente do tipo homogêneo, com topos predominantemente convexos. Cerca de 80% da área dissecada é representada por altos índices de dissecação que variam entre 33 a 54 com predomínio do índice 44, seguido por 33, o que caracteriza médio a forte entalhamento dos vales e uma média a alta densidade de drenagem.

Foram identificadas sete morfoeculturas: Planalto Sedimentar Residual, Planalto Sedimentar Rebaixado, Planalto Cristalino Residual, Planalto Cristalino Rebaixado, Serra de Santana, Planície Alúvio-coluvionar e Depressão Arroio Moirão. Elas foram agrupadas em quatro domínios geomorfológicos de acordo com Ross 1992, são eles; ESRG, Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná e Depósitos Sedimentares do Quaternário.

O padrão da rede de drenagem é predominantemente dendrítico a sub-dendrítico, ocorrendo geometrias radiais e localmente padrões paralelos e em treliça, principalmente nas localidades próximas a falhas regionais. Tal configuração é claramente anômala ao controle estrutural local e regional, sugerindo que represente um padrão de drenagem sobreposta. Ou seja, que retrate uma rede de drenagem inicialmente estabelecida sobre camadas de rochas com determinadas características, e, com o passar do tempo, esse padrão se mantém estável

erodindo e reduzindo as camadas até que em determinado momento atingirá rochas com outras características geométricas, embasamento, por exemplo, que acabam herdando este padrão que atualmente flui de forma anômala à suas estruturas. Esta suposição inclui, especialmente, o rio Camaquã, principal canal que corta todo o ESRG de oeste a leste, enquanto que as estruturas do ESRG possuem orientações nordeste-sudoeste.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Bacia do Paraná-uruguai; estudo da geomorfologia aplicada. *Cia geomorfológica*, Campinas, v. 4(7/8), v. 76-93, 1961.
- AB'SABER, A. N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 1, p. 3-21, Março 1949.
- ALLABY, M. (Ed.). **A Dictionary of Earth Science**. 3ª. ed. [S.l.]: Oxford University Press Inc, 2008.
- ALMEIDA, F. F. M. D. Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 1969, Salvador. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969, p. 29-45.
- ALMEIDA, F. F. M. D. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. D; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, n. 1-2, p. 77-111, 2000.
- ALMEIDA, R. P. D. **Tectônica e sedimentação do ediacarano ao ordoviciano**: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental). São Paulo: Insituto de Geociência, USP, Tese de doutoramento, 2005. 203 p.
- ARCANJO, J. B. A. **Fotogeologia**: conceitos, métodos e aplicações. Salvador: CPRM/SGB, 2011. 144 p.
- BARBOSA, G. V. et al. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL. **Boletim Técnico - Projeto RADAMBRASIL**, Série Geomorfologia, Salvador, p. 7-26. 1984.
- BORBA, A. B. Um geopark na região de Caçapava do Sul (RS, Brasil): Uma discussão sobre a viabilidade e abrangência territorial. **Geographia Meridionalis** – Revista eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas. v. 3, n.1, p. 104-133, 2017
- CAILLEUX, André; TRICART, Jean. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. In: **Annales de Géographie**. Armand Colin, 1956. p. 162-186.
- CASSETI, V. **Cartografia geomorfológica**. [S.l.]: 2006. 19 p. Disponível em: <  
[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/215/o/Casseti\\_valter\\_cartografia\\_geomorfol\\_gica.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/215/o/Casseti_valter_cartografia_geomorfol_gica.pdf)>. Acesso em: 05/04/2020.

CHEMALE JR, F. Evolução geológica do ESRG. In: HOLZ, M.; ROS, L. F. D. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana (CIGO), UFRGS, 2000. p. 13-52.

CONJUNTO de dados: ASF DAAC 2010, ALOS  
PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_Hi\_res. **Alaska Satellite Facility**, 2010.  
Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 29 Outubro 2019.

DRÄGUT, L. et al. Land-surface segmentation to delineate elementary forms from Digital Elevation Models. **Proceedings of the Geomorphometry**, p. 4, 2013.

DRAMIS, F.; GUIDA, D.; CESTARI, A. Nature and aims of geomorphological mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRUIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 15, 2011. Cap. 3, p. 39-74

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de levantamento e conservação de solos. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, 10. Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

ENGEPLUS - Engenharia e Consultoria Ltda. Planejamento da bacia hidrográfica do Baixo Jacuí, fases a, b e c: relatório final síntese. **Secretaria do Meio Ambiente (SEMA)** – Departamento de Recursos Hídricos (DRM). p. 259, 2015.

FAMBRINI, G. L. **O Grupo Camaquã (Transição Proterozóico-Fanerozóico) na Região das Minas do Camaquã, RS**: análise estratigráfica de fácies, proveniência e paleocorrentes. São Paulo: Insituto de Geociências, USP – Tese doutoramento, 1998, 205 p.

FERNANDES, A. D. et al. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no ESRG: parte I - Uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 25, n. 4, p. 351-374, 1995.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. et al. Acreção Neoproterozóica no sul do Brasil e Uruguai: A placa Rio de La Plata e os Terrenos Piratini e Rio Vacacaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú, **Boletim de Resumos Expandidos**, 1994. p. 206-207.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro**: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. São Paulo: Instituto de Geociências, USP, Tese doutoramento, 1991, 387 p.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FAMBRINI, R. P. D. A.; PELOSI, A. P. M. R. A Bacia do Camaquã: Um sistema intracontinental anarogênico de rifts do Neoproterozóico III - Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: I ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS., 2003, Porto Alegre. **Boletins de resumo**. Porto Alegre, 2003. p. 139-144.

GAMA - Engenharia e Recursos Hídricos. Serviços de consultoria relativos ao processo de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Camaquã, fases A, B e C.: relatório final síntese (RS). Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável p. 220, 2016.

GOUDIE, A. et al. **Geomorphologica techniques**. 2ª ed., 2005.

GRIFFITHS, J. S.; SMITH, M. J.; PARON, P. Introdução to applied geomorphological mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 15, 2011. Cap. 1, p. 3-12. ISBN 0928-2025.

GUSTAVSSON, M. **Development of a detailed geomorphological mapping system and GIS geodatabase in Sweden**. Uppsala: Uppsala Universitet, Tese doutoramento 2006. 38 p.

HORN, B. et al., **Carta geológica Folha SH.22Y-A-V: Caçapava do Sul**, escala 1:100.000 (edição preliminar). Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Porto Alegre p. 1. 2017

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. 3ª ed. London: Routledge, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 20ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, v. 5, 2009. 182 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Solos – Carta: Cahoeira do Sul (SH.22-Y-A). [S.l.] 2000. Disponível em:

[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/escala\\_250\\_mil/sh22ya\\_pedologia\\_2003.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/escala_250_mil/sh22ya_pedologia_2003.pdf). Acesso em: 2 de Dezembro de 2020.

JANIKIAN, L. Sequências deposicionais e evolução paleoambiental do Grupo Bom Jardim e da Fm. Acampamento Velho, Supergrupo Camaquã. São Paulo: Instituto de Geociências USP, Tese doutoramento, 2004. 209 p.

JUSTUS, J. D. O.; MACHADO, M. L. D. A.; FRANCO, M. D. S. M. Geomorfologia. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, 1986. p. 313-404.

KER, J. C. et al. Pedologia: Levantamento exploratório de solos. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, 1986. p. 405-540. 1986.

KNIGHT, J.; MITCHELL, W. A.; ROSE, J. Geomorphological field mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 15, 2011. Cap. 6, p. 151-188. ISBN 0928-2025.

LIMA, M. I. C. D. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. 3º ed. Belém: [s.n.], 2006. 222 p. Disponível em: <<http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/1.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2020

LUSA, M. **Geoquímica e petrologia dos metagranitos porfiríticos e equigranulares do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, RS**. Porto Alegre: Instituto de Geociências: UFRGS, Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, 2009. 65 p.

MARCONATO, A. **A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia do Camaquã (RS)**. São Paulo: Instituto de Geociências, USP, Dissertação de mestrado, 2010. 75 p. MARTH, J. D. **Mapeamento dos padrões de forma do ESRG (RS) com auxílio de geotectologias: um estudo das inter-relações dos processos morfoestruturais e morfoesculturais na conformação do relevo**. Porto Alegre: Instituto de Geociência, UFRGS, Tese doutoramento, 2017. 209 p.

MONNÉ, J. L. P. Los mapas geomorfológicos: características y tipos. In: MONNÉ, J. L. P., et al. **Cartografía geomorfológica básica y aplicada**. Logroño: Geoforma Ediciones, 1997. Cap. 1, p. 13-24.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. D. F. Geologia, petrologia e geoquímica do complexo granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 153-169, 1989.

OGUCHI, T.; HAYAKAWA, Y.; WASKLEWICZ, T. Data Sources. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 15, 2011. Cap. 7, p. 189-224. ISBN 0928-2025.

PAIM, P.S.G.; LOPES, R.C.; CHEMALE JR. Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã – Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6, 1995,. **Anais**, Sociedade Brasileira de Geologia, 1995. p. 39-50.

PICADA, R. S. Ensaio sobre a tectônica do ESRG. Caracterização dos sistemas de falhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Anais**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. p. 167-191.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. D. C. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:250.000. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**., Brasília, p. 131. 2000.

RADEMANN, L. K. & TRENTIN, R. Compartimentação do relevo de forma automatizada em ambiente SIG na bacia hidrográfica Areal do Limoeiro, Cacequi/RS. **Geographia Oportuno Tempore**., Londrina, v. 4, n. 2, p. 45-56, 2018.

RIBEIRO, M. Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul-Brasil. **Ministério das Minas e Energia - DNPM**, Rio de Janeiro, Boletim 247, p. 140. 1970.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; TESSARI, P. M. F. F. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil. **Ministério das Minas e Energia - DNPM**, Rio de Janeiro, v. Boletim nº 157, p. 218, 1966.

RIBEIRO, M.; CARRARO, C. C. Geotectonic Map of the Caçapava do Sul Region - R.S. **BRASIL / Upper Mantle Project: Comissão Brasileira**. [S.l.]. 1971.

RIBEIRO, M.; LICHTENBERG, E. Síntese da geologia do Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978, Recife. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia**, Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. v. 6. p. 2451-2463.

ROSA, M. L. C. D. C. **Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas Laguna-Barreira do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS, Tese doutoramento, 2012. 251 p.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 4, p. 25-39, 1985.

\_\_\_\_\_. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, p. 17-29, 1992.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7, 2008, Belo Horizonte. **Anais do XII encontro Nacional de Geomorfologia**. Belo Horizonte, 2008. v. 1.

SANTOS, F. C. A. Mapeamento geomorfológico do Geossítio das Guaritas do Camaquã/RS: Subsídios à Geoconservação. Pelotas: Insitutos de Ciências Humanas, UFPL, Dissertação de mestrado, 2016. 119 p.

SCHEIDEGGER, A. E. **Systematic Geomorphology**. New York: Springer, 1987. 286 p.

SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação de unidades geomorfológicas do município de Agudos/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 03-12, 2013.

SILVA FILHO, W. F. D. **A Formação Guaritas na porção centro-sudeste da Bacia do Camaquã-RS**. São Paulo: Intituto de Geociências, USP, Dissertação de mestrado, 1997. 150 p.

SILVA FILHO, W. F. D. et al. O Magmatismo Rodeio velho e a Formação Guaritas no Eopaleozóico do Rio Grande do Sul: uma reavaliação de suas relações de contato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Anais do XXXIX**

**Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p. 433-435.

SMITH, Mike J.; PARON, Paolo; GRIFFITHS, James S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Elsevier, 2011.

SOLIANI JR., E. **Os dados geocronológicos do ESRG e suas implicações de ordem geotectônica**. São Paulo: Instituto de Geociência, USP, Tese doutoramento, 1986. 417 p.

TEIXEIRA, M. B.; NETO, A. B. C. **Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos - Estudo fitogeográficos**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, 1986. p. 541-632.

THORNBURY, W. **Principles of geomorphology**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1954. 618 p.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson ET Cie, v. 100, 1965. 253 p.

TRINDADE, J. P. P.; ROCHA, D. S.; VOLK, L. B. S. **Uso da terra no Rio Grande do Sul: ano de 2017**. Bagé, Embrapa Pecuária Sul, 2018. 20 p.

VERSTAPPEN, H. T. Old and new trends in geomorphological and landform mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 15, 2011. Cap. 2, p. 13-38. ISBN 0928-2025.

VON-AHN, M. M.; URBAN, C.; SIMON A. L. H. Diagnóstico ambiental da área de proteção do Geossítio Minas do Camaquã – Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1254-1268, 2017.

VON-AHN, M. M.; URBAN, C.; SIMON A. L. H. Abordagem geomorfológica no estudo do patrimônio mineiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, p. 01-10, 2019.