

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Paula Mirela Almeida Guadagnin

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA
SERRA DO CAVERÁ - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL/BRASIL**

Santa Maria, RS
2019

Paula Mirela Almeida Guadagnin

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA SERRA DO
CAVERÁ - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL/BRASIL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Geografia.**

Orientador: Prof. Dr. Romario Trentin

Santa Maria, RS
2019

Guadagnin, Paula Mirela Almeida
PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA
SERRA DO CAVERÁ - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL/BRASIL /
Paula Mirela Almeida Guadagnin.- 2019.
144 p.; 30 cm

Orientador: Romario Trentin
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2019

1. Vegetação Florestal 2. Relevo 3. Morfometria 4.
Serra do Caverá I. Trentin, Romario II. Título.

Paula Mirela Almeida Guadagnin

PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA SERRA DO CAVERÁ - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL/BRASIL

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Aprovado em 11 de março de 2019:



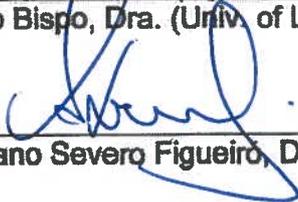
Romario Trentin, Dr.
(Presidente/Orientador)



Jorge Luiz Waechter, Dr. (UFRGS) - Videoconferência



Polyanna da Conceição Bispo, Dra. (Univ. of Leicester) - Videoconferência



Adriano Severo Figueiro, Dr. (UFSM)



Luís Eduardo de Souza Robaina, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Dedico meu trabalho a todas as pessoas que amo, de uma forma ou de outra.

AGRADECIMENTOS

Quando se finaliza uma etapa, um ciclo, procura-se pensar em tudo que aconteceu durante, em todas as pessoas que por ele passaram, contribuindo de uma forma ou de outra e, seguramente, aprende-se muito mais do que se esperava, profissionalmente e pessoalmente. Com certeza é impossível nominar tudo e todos os que foram importantes nesse caminho, mas gostaria de, modestamente, fazer o meu agradecimento:

À Universidade Federal de Santa Maria - UFSM pela possibilidade de realização do doutorado em uma instituição pública de qualidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGGeo, pelos conhecimentos compartilhados durante as disciplinas.

Ao professor Romario Trentin, por toda orientação do trabalho, pela dedicação em realizá-lo, pela compreensão nos momentos que precisei, pelo conhecimento compartilhado generosamente. Esses seis anos de orientação, desde o mestrado, contribuíram muito para meu crescimento profissional.

Ao professor Luís Eduardo de Souza Robaina por colaborar durante o desenvolvimento dos trabalhos, sempre disposto a contribuir e dar sugestões essenciais.

Aos professores Anabela Silveira de Oliveira Deble, José Newton Cardoso Marchiori, Mauro Kumpfer Werlang e Luis Eduardo de Souza Robaina, por participarem da banca de qualificação desse trabalho, contribuindo com correções e sugestões fundamentais.

Aos professores Jorge Luiz Waecter, Polyanna da Conceição Bispo, Adriano Severo Figueiró e Luís Eduardo de Souza Robaina por aceitarem avaliar esse trabalho.

Aos meus pais Maria Lurdes Almeida e Paulo Bassin Guadagnin e ao meu irmão Pablo Lucas Almeida Guadagnin, por serem minha base, onde sei que posso buscar apoio quando necessário, principalmente à minha mãe, por ser também amiga, companheira e conselheira sempre que preciso.

À minha querida amiga Rachel dos Santos Marques por ter se tornado uma pessoa tão presente, atenciosa e carinhosa comigo, incentivando e também cobrando quando necessário. Obrigada por tudo Rachel!

À amiga Débora da Silva Baratto pelo carinho, receptividade, hospitalidade e incentivo em tantos momentos.

À amiga Silvana Fernandes, que mesmo à distância está sempre presente para uma conversa, um apoio e muitas risadas!

À Anabela Silveira Oliveira e ao Leonardo Deble por auxiliar nos trabalhos de campo e na identificação das espécies.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Geologia Ambiental – Lageolam, pela receptividade e agradável convívio durante o curso, especialmente à colega Daniéli Flores Dias pela revisão e formatação final desse trabalho.

Ao Instituto Federal Farroupilha – IFFar campus Alegrete, por tornar viável a realização do curso.

Aos colegas do gabinete seis e meio, Rachel, Mauricio, Mateus, Clebes e Wederson, pelo incentivo, carinho e conversas agradáveis.

Aos colegas do curso de Doutorado em Geografia que deixarão saudades.

Agradeço a todos aqueles que me apoiaram, torceram por mim e que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada!

*“Pampa e flor, olhos de terra
Querência que quero bem
Todo mundo busca um sonho
Mas poucos sabem que tem...
Sou planura, sombra e vento
Horizonte de sol pôr...
Por muito mais sou querência
Pois sou assim, pampa e flor...”*

Juliana Spanevello

RESUMO

DINÂMICA DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA SERRA DO CAVERÁ - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL/BRASIL

AUTORA: PAULA MIRELA ALMEIDA GUADAGNIN
ORIENTADOR: ROMARIO TRENTIN

A vegetação florestal, em território sul-rio-grandense, embora seja favorecida pelas condições climáticas atuais, não é predominante na paisagem, como é a campestre. No entanto, em determinados locais as formações florestais desenvolvem-se com êxito, como ocorre na região da Serra do Caverá, sudoeste do Rio Grande do Sul. Este trabalho teve como principal objetivo compreender como ocorre a distribuição da vegetação florestal e quais fatores contribuem para seu estabelecimento na Serra do Caverá, de modo a propor possíveis padrões para o avanço da vegetação florestal na região. Para seu desenvolvimento foram realizados os mapeamentos da vegetação florestal e do relevo da área de estudo, a partir de suas formas, elementos e componentes das vertentes, utilizando um MDE gerado a partir dos dados SRTM e trabalhados no SIG ArcGIS 10.3, onde foram feitas as correlações, além de trabalho de campo para coleta e verificação dos dados, também foi utilizado o cálculo da razão de frequência, método estatístico que serviu para demonstrar a correlação da vegetação florestal com os atributos analisados. Os resultados obtidos demonstraram que a distribuição e estabelecimento da vegetação florestal na Serra do Caverá e entorno, se dá em função de alguns atributos do relevo, como as formas planas, os elementos vales, plano, fosso onde ocorrem as matas ciliares e a partir de onde a vegetação avança para as associações de morros e morrotes da Serra do Caverá, através das bases de encostas, dos elementos escavados e das vertentes com perfil de curvatura côncavo e plano de curvatura convergente. Dessa forma, é possível inferir que a vegetação florestal, na área de estudo, apresenta alguns padrões no seu avanço sobre as áreas predominantemente campestres. Esse se dá, principalmente, a partir das matas ciliares, onde além da disponibilidade hídrica, a vegetação florestal encontra condições edáficas favoráveis ao seu estabelecimento, e, a partir das matas ciliares, estende-se pelas bases de encostas, de onde avança até as porções superiores das encostas mais íngremes, através das vertentes côncavas, dos relevos escavados e dos contatos rochosos, principalmente quando há possibilidade de concentração da água nas vertentes.

Palavras-chave: Vegetação Florestal. Relevo. Morfometria. Serra do Caverá.

ABSTRACT

DYNAMICS OF DISTRIBUTION OF FOREST VEGETATION IN SERRA DO CAVERÁ - SOUTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL / BRAZIL

AUTHOR: PAULA MIRELA ALMEIDA GUADAGNIN
ORIENTER: ROMARIO TRENTIN

Although it is favored by the current climatic conditions, the forest vegetation is not predominant in the landscape, in the South-Rio-Grandense territory, as is the country. Nevertheless, in some places forest formations develop successfully as in the Serra do Caverá region in the southwest of Rio Grande do Sul. The objective of this work is to understand how the distribution of forest vegetation occurs and what factors contribute to its establishment in Serra do Caverá, proposing possible patterns for the advance of the forest vegetation in the region. The mapping of the forest vegetation and the relief of the study area, from its forms, elements and components of the slopes, were performed using an MDE generated from the SRTM data and worked on the ArcGIS 10.3 GIS, from which the correlations, as well as fieldwork for data collection and verification. It was also used the calculation of the frequency ratio, statistical method used to demonstrate the correlation of the forest vegetation with the attributes analyzed. The results showed that the distribution and establishment of forest vegetation in the Serra do Caverá and surrounding areas is due to some attributes of the relief, such as flat forms, valleys, flat, moat where riparian forests occur and from where the vegetation advances to the associations of hills and so - called morrotes of Serra do Caverá, through the bases of slopes, excavated elements and slopes with profile of concave curvature and plane of convergent curvature. Thus, it is possible to infer that the forest vegetation in the study area presents patterns in its advance over the predominantly rural areas that occurs, mainly, from the riparian forests, where besides the water availability, the forest vegetation finds edaphic conditions favorable to its establishment, and extends from the riparian forests to the slope bases, from where it advances to the upper portions of the steeper slopes, through the concave slopes, excavated reliefs and rocky contacts, especially when there is possibility of water in the slopes.

Keywords: Forest Vegetation. Relief. Morphometry. Serra do Caverá.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	31
Figura 2 - Diferentes períodos e processos de modificação das paisagens.	36
Figura 3 - Mapa da Vegetação Sul-Brasileira, elaborado por Lindman 1892-1894. ...	47
Figura 4 - Mapa Fitogeográfico do Rio Grande do Sul, produzido por Rambo, 1941-1942.	50
Figura 5 - Mapa de províncias Biogeográficas da América do Sul.	52
Figura 6 - Mapa de regiões fitoecológicas.....	54
Figura 7 - Mapa Fitogeográfico do Estado do Rio Grande do Sul.	56
Figura 8 - Localização da região da área de estudo entre as bacias hidrográficas dos rios Ibicuí e Santa Maria, na Região Hidrográfica do Rio Uruguai.	63
Figura 9 - Compartimentos de formas de relevo do estado do Rio Grande do Sul. ...	65
Figura 10 - Grupos e formações geológicas ocorrentes na área de estudo.	66
Figura 11 - Rocha vulcânica formando uma camada no topo de morrote.....	67
Figura 12 - Afloramento de arenito Botucatu formando cornija à meia encosta de morrote com topo vulcânico, com vegetação associada.	68
Figura 13 - Mapa de litologias presentes na área de estudo.....	69
Figura 14 - Mapa de solos do Rio Grande do Sul.	71
Figura 15 - Mapa da tipologia climática do Rio Grande do Sul com o limite da área de estudo.	73
Figura 16 - Representação dos elementos de <i>Geomorphons</i>	77
Figura 17 - Principais <i>Geomorphons</i> reconhecidos na análise do relevo.....	78
Figura 18 - Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas.	80
Figura 19 - Pontos coletados durante os trabalhos de campo.	81
Figura 20 - Mapa hidrográfico da área de estudo.....	86
Figura 21 - Mapa hipsométrico da área de estudo.	89
Figura 22 - Mapa de declividade da área de estudo.	91
Figura 23 - Mapa de orientação de vertentes da área de estudo.	93
Figura 24 - Áreas planas do quadrante leste da área de estudo, na porção nordeste da foto.	95
Figura 25 - Colinas de ondulação suave no primeiro plano e ao fundo associação de morros e morrotes.	96
Figura 26 - Colinas onduladas no primeiro plano e ao fundo associação de morros e morrotes.	96
Figura 27 - Associação de morros e morrotes que constituem a Serra do Caverá. ...	97
Figura 28 - Mapa das formas de relevo da área de estudo.	98
Figura 29 - Mapa da distribuição espacial dos <i>geomorphons</i> na área de estudo....	100
Figura 30 - Representação do <i>Google Earth</i> com visada em torno de 45° de inclinação e sobreposição dos elementos de <i>Geomorphons</i>	102
Figura 31 - Mapa das unidades geomorfométricas 1 a 6 da área de estudo.	105
Figura 32 - Mapa com as unidades geomorfométricas 7 a 12 da área de estudo...	107
Figura 33 - Mapa da distribuição da vegetação florestal na área de estudo.	110
Figura 34 - Forma como a vegetação distribui-se, a partir das matas ciliares até as encostas.....	113
Figura 35 - Representação do <i>Google Earth</i> com visada em torno de 45° de inclinação, ao lado a mesma visada com sobreposição dos elementos de <i>Geomorphons</i>	118
Figura 36 - Elementos de <i>geomorphons</i> cuja vegetação apresenta alta correlação.	120

Figura 37 - Avanço da vegetação florestal a partir da base de encosta pelas concavidades do relevo.	121
Figura 38 - Vegetação florestal associada à cornija (ressalto) em morrote.	121
Figura 39 - Vegetação florestal na mata ciliar e avançando na encosta pelas vertentes côncavas.....	124
Figura 40 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nas formas do relevo.....	130
Figura 41 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nos elementos do relevo.....	132
Figura 42 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nos componentes das vertentes.....	134
Figura 43 - Bloco diagrama com representação esquemática do relevo da área de estudo com as respectivas formas, elementos e componentes das vertentes.	135

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem da orientação das vertentes na área de estudo.	92
Gráfico 2 - Porcentagem de ocorrência dos elementos de <i>geomorphons</i> na área de estudo.	101
Gráfico 3 - Porcentagem de ocorrência das unidades morfológicas da área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada unidade.	114
Gráfico 4 - Razão de frequência da vegetação florestal nas formas de relevo.	116
Gráfico 5 - Porcentagem de ocorrência dos elementos de <i>geomorphons</i> na área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada elemento.....	117
Gráfico 6 - Razão de frequência da vegetação florestal nos elementos de <i>geomorphons</i>	119
Gráfico 7 - Porcentagem de ocorrência das unidades geomorfométricas na área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada unidade.....	123
Gráfico 8 - Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas.....	125
Gráfico 9 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal nas orientações das vertentes.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na determinação das formas de relevo da área de estudo.	77
Tabela 2 - Classificação das informações básicas para a determinação das unidades geomorfométricas.....	79
Tabela 3 - Intervalo das classes hipsométricas e respectivas áreas.....	87
Tabela 4 - Classes de declividade das vertentes e respectivas áreas.	90
Tabela 5 - Características das formas de relevo da área de estudo.	94
Tabela 6 - Áreas e respectivas porcentagens das unidades geomorfométricas da Serra do Caverá.....	104
Tabela 7 - Listagem das espécies mais características das formações florestais na área de estudo.	111
Tabela 8 - Razão de frequência da vegetação florestal nas formas de relevo.	115
Tabela 9 - Razão de frequência da vegetação florestal nos elementos de <i>geomorphons</i>	119
Tabela 10 - Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas.....	125
Tabela 11 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal nas classes de declividade da área de estudo.....	127
Tabela 12 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal no plano e perfil de curvatura das vertentes da área de estudo.	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA	Ordenação Canônica de Correspondência
CPRM	Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
km ²	Quilômetro Quadrado
LAGEOLAM	Laboratório de Geologia Ambiental
m	Metros
MCA	Análise de Correspondência Múltipla
MDE	Modelo Digital de Elevação
PCA	Análise de Componentes Principais
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PROBIO	Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira
RADAR	Radio Detection and Ranging
RS	Rio Grande do Sul
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
shp	<i>Shapefile</i>
SIGs	Sistemas de Informação Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transverso de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	ÁREA DE ESTUDO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS QUATERNÁRIAS E INFLUÊNCIA NA VEGETAÇÃO	35
2.2	O ESTUDO DO RELEVO E A GEOMORFOLOGIA	39
2.3	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS EM MAPEAMENTOS DA VEGETAÇÃO NO SUL DO BRASIL	42
2.4	DINÂMICA DA VEGETAÇÃO NATURAL DO RIO GRANDE DO SUL	45
2.5	ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ENTRE FATORES AMBIENTAIS E VEGETAÇÃO	59
2.6	ASPECTOS DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DA SERRA DO CAVERÁ	62
2.6.1	Geomorfologia	63
2.6.2	Geologia	66
2.6.3	Solos	70
2.6.4	Clima Atual	72
3	METODOLOGIA	75
3.1	ANÁLISE DO MEIO FÍSICO	75
3.2	ANÁLISE DA VEGETAÇÃO	82
3.3	ESTUDO CORRELATIVO	83
3.3.1	Cálculo da razão de frequência	83
4	RESULTADOS	85
4.1	MEIO FÍSICO DA SERRA DO CAVERÁ	85
4.1.1	Rede de Drenagem	85
4.1.2	Análise do Relevo	87
4.2	VEGETAÇÃO FLORESTAL DA SERRA DO CAVERÁ	109
	<i>Janusia guaranítica</i> (A. St.-Hil.) A. Juss.	111
4.3	ESTUDO CORRELATIVO	113
4.3.1	Relação entre a vegetação florestal e as unidades morfológicas	114
4.3.2	Relação entre a vegetação florestal e os elementos de <i>Geomorphons</i>	116
4.3.3	Relação entre a vegetação florestal e os componentes do relevo - unidades geomorfométricas	122
4.4	PADRÕES DE AVANÇO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL	128
5	CONCLUSÃO	137
	REFERÊNCIAS	139

1 INTRODUÇÃO

A coexistência da vegetação campestre e florestal na região oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul, há muito tempo é objeto de estudo de pesquisadores, os quais, em seus trabalhos, apontaram vários fatores como possíveis explicações de tal situação. No entanto, são raros os estudos detalhados referentes aos mecanismos que agem diretamente sobre o estabelecimento da vegetação florestal em território originalmente e, ainda, predominantemente campestre. Dentre esses, destaca-se Marchiori (2004), que aponta o relevo como um dos fatores do meio a ser analisado cuidadosamente quando se busca explicar a coexistência da vegetação florestal e campestre em uma mesma área.

O relevo representa as irregularidades da superfície terrestre e essas irregularidades, por sua vez, resultam da ação dos agentes modeladores, que podem ser tanto internos (ou endógenos), como é o caso dos vulcões, abalos sísmicos, movimentos das placas tectônicas, como também externos (ou exógenos) como é o caso da chuva, rios, mares e a ação antrópica.

A distribuição espacial da vegetação, por sua vez, apresenta estreita relação com os elementos naturais. A cobertura vegetal é fortemente influenciada pelo clima, relevo e embasamento geológico que, em suas múltiplas inter-relações, resultam em ambientes ecológicos bastante variados e se traduz em diferentes paisagens (SANTANA e SOUTO, 2006).

As formas e composição do relevo são fatores que contribuem na determinação da ocorrência e dos tipos de vegetação de determinado local. A associação da vegetação com determinados ambientes, em função da insolação recebida, disponibilidade hídrica, entre outros fatores, está diretamente relacionada à configuração do relevo de uma área. Alguns estudos mais detalhados abordam a relação existente entre a distribuição da vegetação e de suas tipologias e os fatores do meio físico, como o relevo, podendo-se citar, dentre eles, Marchiori (2004), Alves et al (2010), Bispo (2007), Bispo et al (2010) e Guadagnin et al (2015).

De modo geral, o relevo na região oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul é formado, predominantemente, por colinas suavemente onduladas e planícies, onde os morros e morrotes da Serra do Caverá constituem uma formação diferenciada que destaca-se na paisagem regional. Em estudo realizado na bacia hidrográfica do arroio Caverá, Guadagnin e Trentin (2015), observaram a predominância da vegetação

florestal, além da mata ciliar, no alto curso da bacia onde o relevo predominante é formado por morros e morrotes de parte da Serra do Caverá. Nesse estudo, ficou evidente a existência de forte relação da vegetação florestal com os atributos do relevo, o que fortalece a necessidade de um estudo mais aprofundado na região.

A Serra do Caverá está localizada na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, inserida na província fitogeográfica dos Campos Sulinos, cuja característica principal é a predominância da vegetação campestre, composta por gramíneas e herbáceas, recobrando o relevo de planícies, colinas onduladas e por vezes morrotes. A vegetação florestal nesta província ocorre principalmente associada a cursos d'água, formando matas ciliares, ou então na forma de pequenos núcleos, constituindo os chamados capões-de-mato¹. Sua ocorrência na região vem se intensificando ao longo dos últimos milhares de anos, expandindo as áreas onde a vegetação florestal pode ser observada.

Essa expansão da vegetação florestal sobre áreas historicamente de predomínio campestre, atualmente pode ser explicada pelo clima holocênico, que favorece sua sobrevivência, porém, são poucas as áreas onde este tipo de vegetação consegue estabelecer-se com êxito. A Serra do Caverá é uma área onde a vegetação florestal encontra-se bem estabelecida, dividindo espaço com a vegetação campestre. Tal ocorrência nessa área, diferentemente de seu entorno, necessita de estudo detalhado que a correlacione com os demais elementos do ambiente, a fim de buscar possíveis padrões do avanço da vegetação florestal nos campos sulinos.

Atualmente, a maior parte da vegetação natural na região oeste e sudoeste do Estado encontra-se bastante alterada e sofre forte influência das ações antrópicas, visto que nos últimos anos tem se intensificado o uso agrícola do solo, bem como a expansão da silvicultura, ações que transformam drasticamente o aspecto natural da vegetação, restando, então, poucos e reduzidos locais onde a vegetação ainda apresenta traços originais. Sabe-se que essa descaracterização, na referida região, se dá principalmente em áreas de planície de acumulação, pelo cultivo do arroz e soja e em áreas de colinas suavemente onduladas, pela soja e pastagens forrageiras (aveia, azevém, braquiária e outros) sendo que locais de altitude e declividade mais

¹ O termo "capão", de origem indígena (Tupinambá), deriva de "caa-apoam" e significa mata circular. É utilizado regionalmente para caracterizar ilhas de vegetação silvática dispersas em áreas campestres. Esse termo foi registrado pelos portugueses com a corruptela "capão de mato" (MARCHIORI, 2004).

elevadas tornam-se menos favoráveis ao uso do solo, não só pelos fatores geomorfológicos como também litológicos e pedológicos.

A presente proposta de tese de doutorado possui como principal hipótese norteadora a de que a distribuição espacial da vegetação florestal, na Serra do Caverá, está intimamente relacionada aos elementos físicos da área de estudo e as características dos elementos do relevo e das formas das vertentes propiciam a disponibilidade de água e as competições de espécies vegetais, favorecendo ou não a melhor adaptação às espécies florestais.

Dessa forma, tem-se como objetivo geral, compreender como ocorre a distribuição da vegetação florestal e quais fatores contribuem para seu estabelecimento na Serra do Caverá e como objetivos específicos:

- Analisar e diferenciar a tipologia de vegetação existente na área de estudo;
- Realizar levantamento florístico na tipologia de vegetação florestal;
- Elaborar mapa de cobertura vegetal florestal da Serra do Caverá;
- Realizar o mapeamento das formas de relevo, dos elementos de relevo (*geomorphons*) e das formas das vertentes (unidades geomorfométricas).
- Relacionar a vegetação florestal aos aspectos físicos mapeados buscando identificar quais e como esses fatores contribuem para seu estabelecimento;
- Propor possíveis padrões para o avanço da vegetação florestal nos campos sulinos.

Espera-se que este trabalho sirva de contribuição aos estudos sobre a dinâmica de distribuição da vegetação florestal na região oeste e sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, bem como gere subsídios a outros trabalhos que visem relacionar aspectos do meio físico à vegetação através de métodos e técnicas que utilizem Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o cruzamento dos parâmetros analisados.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul entre os municípios de Alegrete, a noroeste, Santana do Livramento, a sul e Rosário do Sul, a leste (Figura 1), possui uma área de aproximadamente 5.026 km² e apresenta como menor cota altimétrica o nível de 83 metros, nas planícies de inundação dos rios que a delimitam e a maior cota é de 371 metros, nos morros que

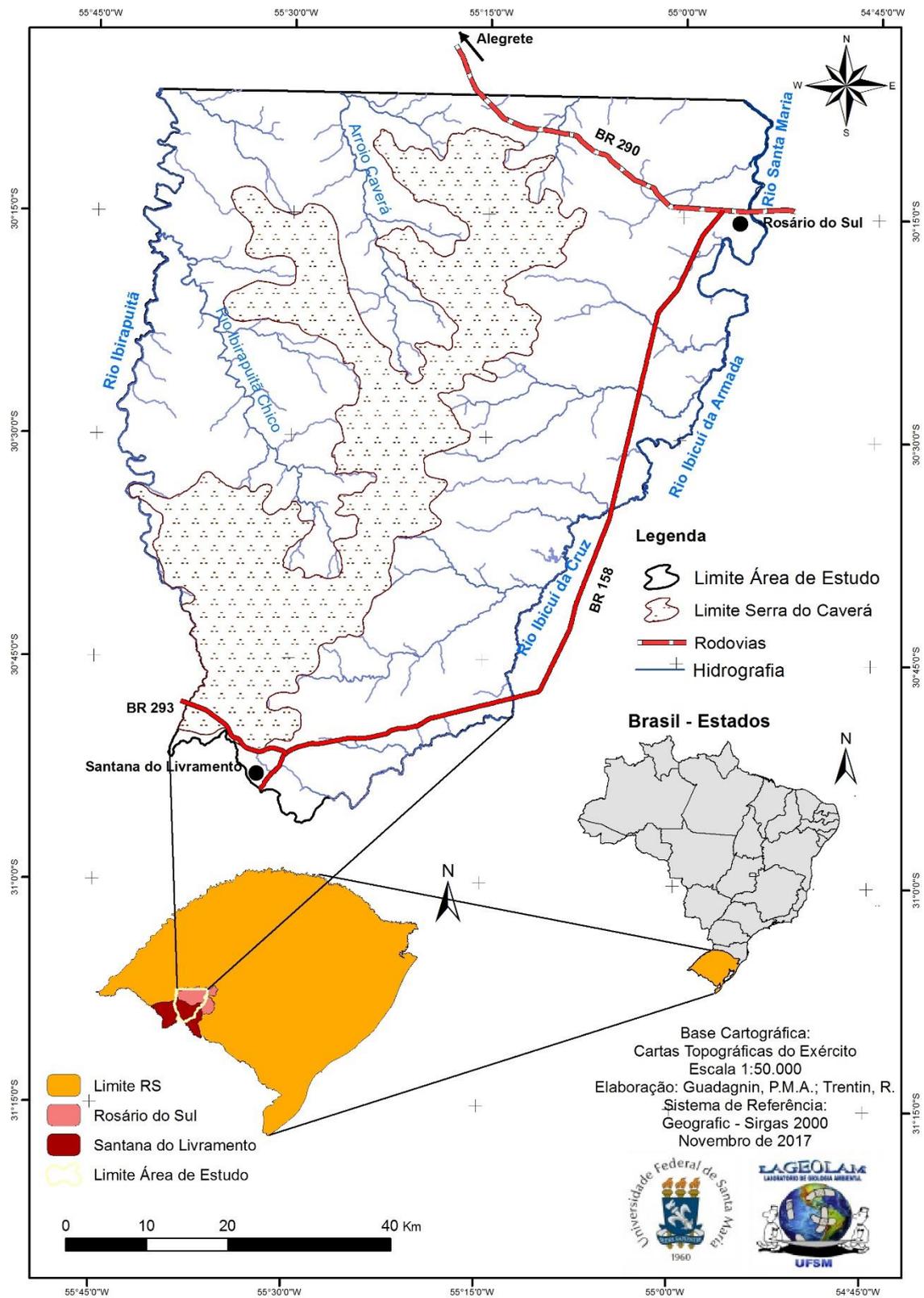
constituem a Serra do Caverá, resultando em uma amplitude altimétrica de 288 metros.

A delimitação da área de estudo foi realizada a partir dos limites naturais dos rios existentes a leste, rios Santa Maria, Ibicuí da Armada, Ibicuí da Cruz e Ibicuí da Faxina e a oeste, rio Ibirapuitã, do limite entre Brasil e Uruguai a sul e o limite norte foi estabelecido de modo que abrangesse a região da Serra do Caverá.

Serra do Caverá é a denominação dada, regionalmente, a um conjunto de elevações do terreno, formado por morros e morrotes cujos topos são predominantemente arredondados, de amplitudes acima dos 200 metros e declividades altas, maiores do que 15%. Devido à esta unidade não possuir limites pré-estabelecidos, optou-se por defini-la utilizando a curva de nível de 180 metros como guia para delimitar a Serra do Caverá, dessa forma, incluindo a maior parte das formações de morros e morrotes.

Na porção sudoeste da área de estudo localiza-se parte da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã, unidade de conservação de uso direto, que possui área de aproximadamente 318.767 hectares, abrangendo a porção superior da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã. De acordo com seu plano de manejo (Brasil, 1999), a APA do Ibirapuitã abriga espécies de aves e mamíferos raros ou ameaçados de extinção, além de espécies endêmicas de cactáceas e bromeliáceas.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Essa tese está estruturada da seguinte forma: introdução, contendo uma apresentação geral da temática da pesquisa, objetivos e justificativa do trabalho, além da delimitação e localização da área de estudo.

No primeiro capítulo é apresentada uma revisão de alguns temas relativos ao estudo, a partir de referencial teórico específico, conforme breve descrição a seguir: Inicialmente faz-se uma discussão acerca da influência das oscilações climáticas quaternárias no desenvolvimento e estabelecimento das tipologias de vegetação no estado do Rio Grande do Sul, usando também a abordagem da teoria dos refúgios vegetacionais, baseada principalmente na obra de Aziz Ab'Sáber (1967, 1971, 1979, 1980, 1992) e também autores como Marchiori (2004) e Bolzon e Marchiori (2002).

Posteriormente é apresentada uma breve revisão sobre a Geomorfologia e os estudos do relevo bem como o mapeamento geomorfológico como ferramenta de estudos de caracterização da paisagem, para tal, são utilizados os seguintes autores, Florenzano (2008), Abreu (1983), Ross (1990, 1992), Ab'Saber (1969), Cassetti (2005), Lupinacci et al (2003), Trentin (2011), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) e Valeriano (2008).

Em seguida são apresentados alguns trabalhos que empregaram geotecnologias para o mapeamento da vegetação no sul do Brasil e os métodos e técnicas utilizados para tal. Nesse caso, são apresentados os trabalhos de Veloso e Góes-Filho (1989) no projeto RadamBrasil, também o mapeamento do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004) e IBGE (2012) e o trabalho de Alves et al (2010).

Posteriormente são abordados alguns estudos da dinâmica da vegetação natural no Rio Grande do Sul, sob o ponto de vista fitogeográfico, bem como das tipologias de vegetação descritas e terminologias utilizadas para sua designação. Nesse tópico de revisão são utilizados trabalhos de diversos autores, como Rambo (1956), Lindmann (1974), Cabrera (1971), Cabrera e Willink (1973), Sampaio (1934), Veloso e Góes-Filho (1982), Reitz et al (1988), Marchiori (2002, 2004 e 2006), Alves et al (2010) e Deble (2011).

Logo são abordados alguns estudos que realizaram a correlação entre fatores ambientais e vegetação, utilizando técnicas automatizadas para a análise. Nesse item foram citados os trabalhos de Villers-Ruiz et al (2003), Kawule (2007), Silva et al (2015), Ribeiro e Walter (2008) e Bispo (2007 e 2012).

Por fim é apresentada a área de estudo, a partir dos aspectos do meio físico, geomorfologia, com a classificação de Müller Filho (1970), Ross (2008) e Robaina et

al (2008, 2016), geologia, a partir do mapeamento da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM) realizado por Wildner et al (2008), solos, baseado na classificação de Streck et al (2002) e clima atual, com base nos trabalhos de Nimer (1989), Rossato (2011) e Berlato e Fontana (2003).

No segundo capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para realização do trabalho, incluindo as etapas e técnicas empregadas em cada uma delas, que foram divididos em análise do meio físico, análise da vegetação e estudo correlativo.

O terceiro capítulo consiste na análise e discussão dos resultados desse estudo, iniciando com a análise do meio físico da área de estudo, caracterização da rede de drenagem, seguida da análise do relevo, considerando sua hipsometria, declividade e orientação de vertentes. Logo são apresentados o mapeamento das formas do relevo, dos elementos com base nos *geomorphons* e dos componentes geomorfométricos das vertentes.

O quarto capítulo é destinado à análise da vegetação da área de estudo, onde é apresentado o mapeamento da vegetação florestal e uma caracterização da composição florística dessa tipologia.

O quinto capítulo é dirigido ao estudo correlativo entre a vegetação e as formas do relevo de modo geral, os elementos do relevo a partir dos *geomorphons* e também os componentes do relevo a nível de vertente, nas unidades geomorfométricas. Ambas as correlações foram realizadas através de análises de relação simples, pelo cruzamento direto entre as variáveis e também análise de relação relativa, utilizando um cálculo de frequência baseado em método estatístico bivariado.

E o sexto capítulo apresenta a sistematização das análises dos resultados desse estudo, a partir da proposição de padrões de avanço da vegetação florestal na região sudoeste do Rio Grande do Sul, como forma de contribuir nos estudos da dinâmica floresta-campo nos Campos Sulinos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS QUATERNÁRIAS E INFLUÊNCIA NA VEGETAÇÃO

Para compreensão da dinâmica da vegetação atual ocorrente principalmente no oeste e sudoeste do Estado do RS e da existência concomitante de duas tipologias de vegetação distintas entre si, principalmente devido a seus fatores biológicos limitantes, é importante subsídio um estudo que busque, no passado geológico, algumas explicações para tal associação por vezes íntima.

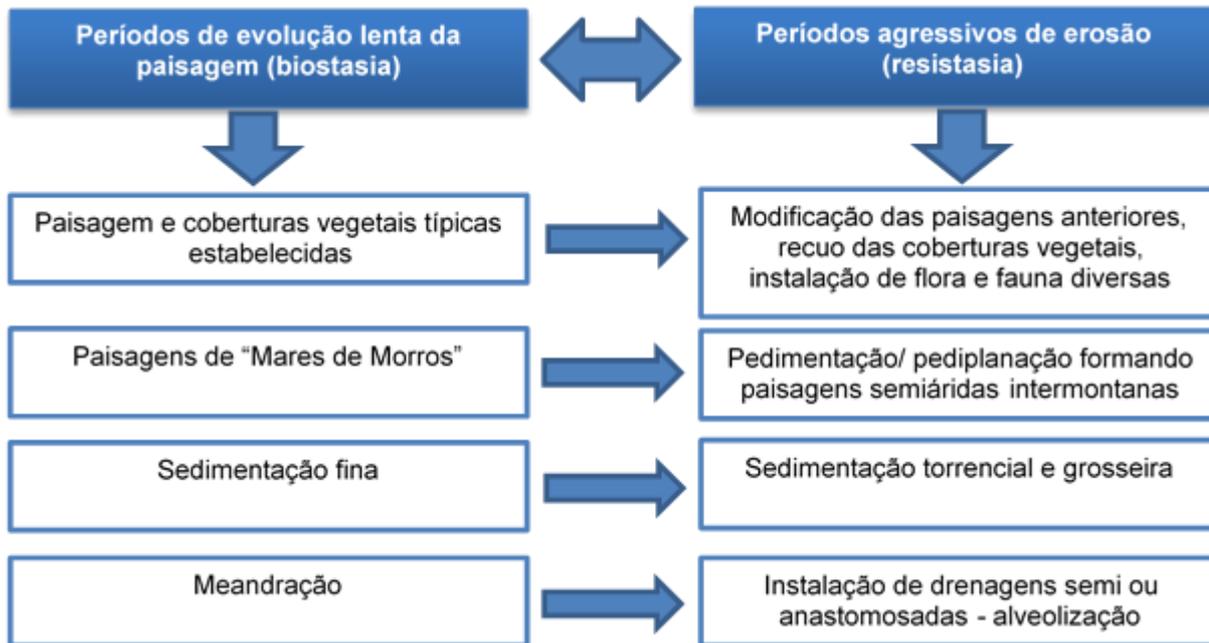
Desta forma, buscam-se alguns trabalhos que contribuam nesse entendimento, principalmente devido à existência de limites bruscos entre uma tipologia de vegetação florestal, com espécies que desenvolvem-se em ambientes mais quentes e úmidos e outra tipologia de vegetação campestre, com espécies típicas de regiões de clima frio e seco.

De acordo com Ab'Sáber (1967) as províncias fitogeográficas do Brasil configuram a expressão dos domínios morfoclimáticos, sendo esses resultantes das combinações de fatores geomórficos, climáticos, pedológicos e hidrológicos, determinando a fisionomia das paisagens, além de serem influenciados pelas variáveis resultantes de flutuações climáticas pretéritas. Para o autor, são definidos seis domínios morfoclimáticos em território brasileiro de acordo com as variáveis já citadas, além das faixas de transição. Em território sul-rio-grandense, está o “domínio das coxilhas subtropicais uruguaio-sul-rio-grandenses, extensivamente recobertas por pradarias mistas” caracterizando a ocorrência, além das pradarias, de matas subtropicais, de processos fracos de decomposição rochosa e formas mamelonares ou pseudomamelonares, ocasionadas por depósitos de colúvio. Em outro trabalho, Ab'Saber (1971), salienta que em tal domínio predominam paisagens de zonas temperadas úmidas e subúmidas, sujeitas a algumas estiagens.

Ab'Saber (op. cit.) ressalta que tais domínios estabelecidos são resultados de oscilações climáticas e fitogeográficas ocorrentes no Quaternário na América do Sul, e que sua compreensão necessita da revisitação dos diferentes cenários que se sucederam no tempo. É fundamental entender melhor os avanços e recuos das tipologias de vegetação características de cada região fitogeográfica ao passo das severas mudanças da paleoclimatologia recente.

Ab'Sáber (op. cit.) cita alguns fatos e episódios que precederam os quadros paisagísticos atuais no Brasil, sendo estes expressos no esquema da Figura 2.

Figura 2 - Diferentes períodos e processos de modificação das paisagens.



Fonte: Adaptado de Ab'Sáber (1967).

Tais inconstâncias paleoclimáticas, além de provocarem sucessivas alterações na paisagem em geral, alteraram a fisionomia da vegetação e conseqüentemente os conjuntos florísticos representativos de cada região brasileira, que possivelmente, apresentaram espécies diferentes das atualmente conhecidas.

Para Ab'Sáber, as tipologias de vegetação formadas do Médio Terciário para o Quaternário devem ter maior relação com as atuais formações inter e subtropicais brasileiras "matas, cerrados, caatingas, araucárias e pradarias", estas formações é que sofreram oscilações durante as modificações sucessivas ocorridas no Quaternário (AB'SÁBER, 1971).

O mesmo destaca que, durante o último período seco ocorrido no limite Pleistoceno-Holoceno ou mesmo Holoceno subatual (conhecido pela fase das *stone lines*), de curta duração, a morfogênese mecânica sob o ambiente com cobertura vegetal reduzida e espaçada formou solos pedregosos descontínuos. No entanto, por não ter perdurado, houve apenas uma incompleta e descontínua retração das

florestas, retornando as condições tropicais úmidas, com o aumento da colúviação e do intemperismo químico, a vegetação florestal avançou a partir de seus refúgios, auxiliando na pedogênese.

Quanto aos refúgios da vegetação florestal, citados anteriormente, Ab'Sáber (1992) ao descrever a "Teoria dos Refúgios", que trata dos mecanismos envolvidos no processo de retração e expansão das fisionomias de vegetação inter e subtropicais sul-americanas, ressalta a necessidade de se compreender os processos envolvidos nesta dinâmica, as oscilações do clima no Quaternário e as consequências das mesmas. Ao passo da pequena diminuição da temperatura média regional em períodos glaciais, ocorreu sempre uma forte expansão de climas secos, que desencadearam fatos físicos, segundo o autor,

Ocorrem mudanças de marcha nas condições do ambiente/espacos geocológicos/paisagens; horizontes de solo são removidos gradualmente com o fenecimento de biomassas anteriormente predominantes; modificam-se os processos morfogenéticos; inicia-se a formação de novos solos pela transformação sutil dos remanescentes dos solos preexistentes, ou pelo acréscimo de novos depósitos de cobertura em processo de pedogenização (AB'SÁBER, 1992, p. 30).

Estas fases de transformação das paisagens ocasionaram a retração da vegetação preexistente e expansão de tipologias de vegetação de outras províncias fitogeográficas. Esses mecanismos de desintegração das paisagens tropicais no Pleistoceno são melhores apresentados pelo autor em trabalho do ano de 1979. A teoria dos refúgios refere-se às áreas máximas de retração das florestas tropicais que sobreviveram em redutos ou sítios, com deslocamento de faunas de sombra devido à semiaridificação do entorno, porém sua identificação é uma tarefa difícil, aproximativa.

Quando cessou o último período seco, houve uma sucessiva retropicalização (nos últimos 12.800 anos), aumentando o calor e a umidificação do clima, os refúgios se ampliaram e uniram-se recriando os espacos florestados, esta retomada da vegetação florestal, se deu, segundo Ab'Saber (1979) de norte para sul, pela fachada Atlântica e Alto e Médio Paraná, sendo a principal fase de retropicalização holocênica os últimos 6.000 anos.

Entretanto, busca-se também a explicação do autor (1980) para a retomada parcial da semiaridez holocênica em razão do chamado *Optimum Climatico* (6.000 a 8.000 anos) que, de modo geral, diferentemente dos processos ocorrentes em períodos glaciais, ocorreu em função do avanço parcial no nível dos mares

ocasionado pelo aumento da temperatura pós-Würm que também fez diminuir a intensidade das massas polares, o que reduz também a precipitação decorrente dos conflitos de massas de ar. Dessa forma, tem-se o aumento do nível do mar e da temperatura, porém a diminuição da precipitação, principalmente em alguns compartimentos de relevo, como depressões periféricas e depressões interplanálticas. Portanto, os compartimentos rebaixados de planaltos inter e subtropicais, por diferentes razões, foram mais secos tanto no Pleistoceno superior como, de forma descontínua, no máximo da transgressão flandriana, no “ótimo climático”.

Essas alterações climáticas e sua influência na expansão e retração da vegetação é abordada também por Bolzon e Marchiori (2002) que, segundo os autores,

Nos períodos glaciais, as savanas expandiam-se em baixas latitudes sobre áreas florestadas, que sofriam retração. Nos interglaciais, ao contrário, as florestas avançavam sobre áreas campestres, substituindo estepes e savanas. Cerca de 27 destes ciclos são reconhecidos ao longo do Quaternário. (BOLZON e MARCHIORI, 2002, p. 19).

Entretanto, para os autores, embora os dados geológicos, geomorfológicos e paleoclimáticos indiquem a vigência de climas mais frios e secos na América do Sul durante os intervalos de 4.000 a 2.000 e de 1.500 a 400 anos atrás, no sul do Brasil não existem, até então, evidências significativas de fases secas após 5.000 anos antes do presente, provavelmente devido à ocorrência de fenômenos *El Niño*, que ocasionam maiores índices de chuvas na região.

Dessa forma, torna-se clara a ideia de que as tipologias de vegetação campestres tiveram seu ápice de expansão, favorecidas pelos fatores paleoclimáticos, pelo território do sul do Brasil há mais de 5.000 anos e, desde então, o umedecimento e aquecimento do clima favorecem o avanço das tipologias de vegetação florestal, sendo, no Rio Grande do Sul, provenientes, principalmente, das regiões de floresta estacional, restando a muitas espécies típicas dos campos do sul e oeste do Estado o caráter relictual. Em outro trabalho, Marchiori (2004) ao propor que a explicação para a coexistência de vegetação florestal e campestre dividindo o mesmo espaço deve ser buscada na forma de vida de cada espécie e em suas vinculações com o relevo, ressalta que,

As diferenças de comportamento entre árvores e gramíneas favorecem a interpretação dos campos sulinos como formações relictuais, por estes não disporem de vantagens adaptativas, em relação às florestas, no vigente clima ombrófilo. O umedecimento e aquecimento do clima, verificados no Holoceno, propiciou a expansão florestal sobre antigas áreas campestres, tanto a partir de eventuais refúgios, sobreviventes da longa fase xerotérmica, no último período glacial pleistocênico, como de áreas florestais situadas mais ao norte, seguindo nesse caso, duas rotas migratórias: pela via litorânea e pelo interior do continente, ao longo dos vales dos rios Paraná e Uruguai (MARCHIORI, 2004, p. 19).

As espécies arbóreas que avançam principalmente no sentido norte/nordeste - sul/sudoeste do Rio Grande do Sul, encontram a resistência da competição biológica com espécies campestres bem adaptadas que dificultam sua dispersão e, também, da intensa ação humana, que retira a vegetação, devido aos principais tipos de usos do solo nessas regiões serem para fins agrícola e pastoril.

2.2 O ESTUDO DO RELEVO E A GEOMORFOLOGIA

A origem e composição das formas de relevo e os processos nelas atuantes, de acordo com Florenzano (2008), é objeto de estudo da Geomorfologia. A autora ressalta ainda, que o estudo do relevo também é importante para outras ciências que tratam dos elementos da superfície terrestre como rochas, solos, água, vegetação, bem como é um fator fundamental a ser considerado quando se pretende definir fragilidades e vulnerabilidades ambientais e para elaboração de normas para sua ocupação e proteção.

Ao fazer um breve resgate das principais contribuições e da sistematização da geomorfologia, citam-se as ideias propostas por Davis (1899 apud FLORENZANO, 2008) que nortearam a escola anglo-americana até a Segunda Guerra Mundial. Para Davis o relevo é papel da estrutura geológica, dos processos atuantes e do tempo em um Ciclo Geográfico (ABREU, 1983).

Na escola alemã, a teoria de Penck, em 1953, baseia-se em uma concepção alternativa, a partir de um entendimento dos elementos da superfície terrestre de forma integrada, valorizando o estudo dos processos, elucidando os movimentos crustais, formalizando o conceito de depósitos correlativos e articulando-se com a Climatologia e a Biogeografia (ABREU, 1983; FLORENZANO, 2008).

De acordo com Abreu (1983), na escola anglo-americana localizam-se, como instrumentos de pesquisa, teorias e métodos de análise quantitativos e na escola

alemã, os métodos voltados a cartografia geomorfológica e um sistema de análise ambiental que volta-se para o homem como um instrumento de articulação teórica com a Geografia. Para Abreu (1983, p.17), Davis e Penck “lançaram as bases dos conceitos, os quais progressivamente se aprimoraram e chegaram até nós, constituindo o conteúdo e as formas de abordagem presentes da geomorfologia”.

Para Ross (1990) no caso brasileiro,

Apesar de todas as influências nem sempre serem bem absorvidas, percebe-se uma tendência, cada vez mais acentuada, para a cartografia geomorfológica, principalmente pela penetração da obra do francês Jean Tricart (ROSS, 1990, p. 31).

O conceito de Ecodinâmica, segundo Florenzano (2008), foi introduzido por Tricart em 1977, com base na relação morfogênese/pedogênese. Em seu trabalho, o autor conclui que as relações entre os diversos componentes do meio ambiente podem ser estudadas a partir do conceito ecológico associado ao instrumental lógico dos sistemas e que é necessário estabelecer uma taxonomia do relevo fundada no grau de estabilidade e instabilidade da morfodinâmica, para a elaboração da cartografia geomorfológica.

A teoria geomorfológica no Brasil recebeu uma importante contribuição de Ab'Sáber (1969), que estabeleceu três níveis de abordagem, compartimentação topográfica regional e caracterização e descrição destas formas de relevo, posteriormente, busca informações sobre a estrutura superficial das paisagens dos compartimentos observados, por meio de observações geológicas dos depósitos e geomorfológicas das feições antigas e recentes do relevo e, no terceiro nível trata de entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, busca compreender a fisiologia da paisagem através da dinâmica climática e insere o homem como agente nos processos de morfodinâmica.

No estudo desses níveis, de acordo com Casseti (2005), do primeiro ao terceiro, os processos evoluem a partir de uma escala de tempo geológica até uma escala histórica ou humana, incorporando gradativamente novas variáveis analíticas, como relacionadas a derivações antropogênicas, e exigindo maior controle de campo, o que implica o emprego de técnicas específicas, podendo chegar a níveis elevados de sofisticação e análises específicas.

A cartografia geomorfológica é um dos mais importantes veículos de comunicação e análise de resultados dos estudos das formas e compartimentação do

relevo para a geomorfologia, de acordo com Lupinacci, Mendes e Sanchez (2003). Para Ross (1990), ao mesmo tempo que é um instrumento de análise e de síntese da pesquisa em geomorfologia, a cartografia geomorfológica é um dos caminhos mais claramente definidos para a pesquisa empírica no campo da geomorfologia.

De acordo com a necessidade da análise, conforme Trentin (2011), o mapeamento geomorfológico pode atender de forma que os processos de modelagem e compartimentação do relevo são estudados a partir dos diversos procedimentos a serem aplicados.

A União Geográfica Internacional (UGI), através da Subcomissão de Cartas Geomorfológicas, recomendou que se apresentem quatro níveis de abordagem na cartografia geomorfológica, de acordo com Casseti (2005), que são, *morfometria*, referente a altitude, dimensões, desníveis, extensões; *morfologia*, que trata das formas do perfil, concavidades e convexidades, rupturas, topos, fundos de vale; a *gênese*, alusiva a degradação ou agração; e a *cronologia relativa*, idade relativa das formas, datação absoluta.

Na década de 1970, a cartografia geomorfológica no Brasil teve uma grande contribuição pelos mapas elaborados no Projeto RadamBrasil, que, posteriormente, a partir de vários documentos de diferentes épocas e autorias, deu origem ao Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), documento que apresenta conceitos dos tipos de relevo, utilizando ilustrações por blocos-diagrama e imagens de radar e descreve uma metodologia para o mapeamento geomorfológico.

Ross (1992), com base na morfologia e na gênese do relevo propõe uma classificação em seis níveis taxonômicos, sendo o 1º táxon correspondente às *Unidades Morfoestruturais*, de maior extensão em área; o 2º táxon representa as *Unidades Morfoesculturais* contidas no 1º táxon; o 3º táxon refere-se às *Unidades Morfológicas* ou *Padrões de Formas Semelhantes* contidos no táxon anterior; o 4º táxon corresponde aos *Tipos de formas de relevo*, como morros ou colinas, que compõem a Unidade Morfológica; o 5º táxon refere-se aos *Tipos de vertentes* (côncava, convexa) e o 6º táxon representa as *Formas de processos atuais*, como ravinas, voçorocas ou aterros produzidos pela ação humana.

Em trabalho anterior, Ross (1990) destaca que os mapas geomorfológicos podem ter outras utilidades, principalmente no campo das questões ambientais. Segundo o autor, esses mapeamentos, juntamente com outras disciplinas e outros mapas, servem para definir zoneamentos ambientais e suas diretrizes, dentro de um

contexto de planejamento ambiental de espectro geográfico, ou seja, espacializado em determinado território.

Os métodos e técnicas de mapeamento geomorfológico têm sido cada vez mais aperfeiçoados pelo emprego de geotecnologias do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, sobretudo pelo crescente uso de SIGs (TRENTIN, 2011). A possibilidade de simular digitalmente técnicas de medição de variáveis topográficas, para Valeriano (2008), é de grande interesse no contexto de modelagem de dados do meio físico em SIGs. O autor destaca que “os estudos aplicados à caracterização da paisagem com variáveis morfométricas têm sido favorecidos com o desenvolvimento de métodos automáticos de extração dessas variáveis” (VALERIANO, 2008, p. 73). Ressalta que enquanto, por longo tempo se desenvolveram técnicas e recursos para analisar o relevo sem fardos dados disponíveis, hoje o potencial informativo dos dados topográficos é maior que o desenvolvimento das geotecnologias.

A definição de unidades geomorfológicas, através de produtos cartográficos, onde podem ser extraídas as diversas variáveis morfométricas, torna-se um recurso muito importante e possibilitará relacionar à ocorrência da vegetação florestal, buscando compreender a dinâmica de distribuição desta na área de estudo.

2.3 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS EM MAPEAMENTOS DA VEGETAÇÃO NO SUL DO BRASIL

Muitos mapas de vegetação foram elaborados para a região sul do país e consequentemente o Rio Grande do Sul desde o final século XIX até a atualidade, como os de Lindman (1892, 1894), Rambo (1956) entre outros. Destaca-se nesse caso um dos trabalhos que empregou tecnologias nesse mapeamento, desenvolvido de janeiro de 1978 a setembro de 1982, o Projeto RadamBrasil (VELOSO e GÓES-FILHO, 1982) que teve como objetivo identificar, descrever e mapear a vegetação original atual e pretérita, bem como a alterada pela ação antrópica no Estado do Rio Grande do Sul e pequena parte de Santa Catarina, utilizando para essa região, as Folhas SH.22 Porto Alegre, SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim, da Divisão Cartográfica Internacional e teve como método o uso de imagens de radar e operações de campo terrestres.

O sensor básico utilizado no mapeamento da vegetação foi o *Radio Detection and Ranging* (RADAR), através de 26 mosaicos semicontrolados e respectivas faixas,

formando pares estereoscópicos na escala 1:250.000, com imagens obtidas em 1975/1976. Também foram utilizadas fotografias aéreas verticais em preto e branco e com filme infravermelho colorido com escalas 1:100.000 e 1:45.000, respectivamente; mosaicos semicontrolados de fotografias aéreas verticais na escala 1:60.000, imagens de satélite *Landsat* nas escalas 1:500.000 e 1:1.000.000; cartas topográficas nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, além de mapas preexistentes.

A elaboração do mapa final pela equipe do Projeto RadamBrasil foi realizada a partir das seguintes etapas: cálculo das superfícies em km² de todas as áreas mapeadas, de todas as folhas na escala 1:250.000 por meio de planimetragens e pesagens; redução fotográfica das 26 folhas poliéster na escala 1:250.000 para a escala de publicação de 1:1.000.000; lançamento das linhas de mapeamento, já na escala 1:1.000.000 sobre a base cartográfica (*blue-line*) previamente preparada pela Divisão de Cartografia do Projeto RadamBrasil, também na escala 1:1.000.000; e confecção de cópias poliéster de *blue-line*, com o tema e legendas já lançadas, das quais foram feitas cópias heliográficas para pintura das formações e sub-formações.

No ano de 2004, o MMA por meio do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) realizou o mapeamento da cobertura vegetal, a partir do recorte de biomas estabelecido no Mapa de Biomas do Brasil do IBGE (2004). Segundo o MMA (2004), os produtos resultantes da execução do mapeamento foram mapas finais na escala 1:250.000 (com recorte das cartas articuladas 1:250.000 do IBGE) com formato de apresentação papel (formato A0) e meio digital, arquivos *Shapefile* (shp) e *Portable Document Format* (PDF). Base de Dados com bases temáticas em shp em arquivos correspondentes às cartas articuladas do IBGE/DSG na escala 1:250.000. Formato de apresentação: meio digital (arquivo shp). Cartas-imagem do bioma escolhido com recorte das cartas 1:250.000 do IBGE. Formato de apresentação: meio digital (arquivos GEOTIFF e PDF). Mapa síntese com formato de apresentação: papel (formato A0); meio digital (arquivo shp) e também, Relatório Técnico, segundo padrão específico.

Para o mapeamento da vegetação do Bioma Pampa foram utilizadas 22 imagens *LANDSAT*, ano base 2002 que foram mosaicadas para a produção de um único arquivo para todo o bioma. Para a interpretação, este mosaico foi recortado em 23 cartas-imagem com base no mapeamento sistemático na escala 1:250.000. Para cada janela de mapa foram geradas duas composições coloridas em falsa-cor, utilizando-se as bandas 3, 4 e 5. As classes de cobertura do solo foram obtidas por

interpretação visual em tela, com o auxílio do programa *CartaLinx*. As áreas de cobertura vegetal original do Pampa foram identificadas sobre as composições coloridas ampliadas em tela na escala 1:50.000.

Em 2012, o IBGE lançou o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), onde dentre outros tópicos o IBGE apresenta os procedimentos para mapeamento da vegetação em escala regional. Segundo o manual, para o mapeamento da vegetação, em diversas escalas, há uma série de procedimentos a serem seguidos, que, apesar do caráter dinâmico, passam em linhas gerais pelas seguintes etapas: área e escala do trabalho (segundo o autor, a escala prioritária é de 1:250 000, e utiliza-se a Projeção Universal Transverso de Mercator (UTM), *Datum SIRGAS 2000*, ou trabalha-se no Sistema de Coordenadas Geográficas; resolução espacial adequada e sensores correspondentes; levantamento de mapeamentos preexistentes e material bibliográfico auxiliar (cartas de serviço, escala 1:250.000, provenientes do Projeto RadamBrasil, estas cartas são normalmente escaneadas e registradas para a orientação do tipo de vegetação predominante na área do levantamento e também utiliza-se modelo digital de elevação proveniente da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), utilizado nas escalas regionais a semidetalhe); cartas topográficas; seleção e aquisição de imagens de sensores orbitais/aerotransportados (por exemplo, no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e no do *United States Geological Survey* (USGS), entre outros); - em ambiente SIG: processamento digital de imagens, interpretação preliminar, operações de campo, reinterpretação, integração, edição e validação topológica, carga e verificação de consistência em banco de dados e elaboração de mapa final.

Ao realizar o mapeamento fitogeográfico da bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Grande, na região Oeste do RS, Alves et al (2010), elaboram uma metodologia para cartografia fitogeográfica baseada na análise do meio físico e posterior análise fitogeográfica, através do uso de base cartográfica das Cartas Topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro em escala 1:50.000, imagens de satélite *ETM Landsat* e *Google Earth* georreferenciadas e digitalizadas com auxílio do *software GPS TrackMaker Professional - GTM PRO*, versão 4.6 e do *software Corel Draw X3* para edição gráfica bem como intenso trabalho de campo.

2.4 DINÂMICA DA VEGETAÇÃO NATURAL DO RIO GRANDE DO SUL

A vegetação natural e sua distribuição na superfície terrestre é objeto de estudo de várias áreas e subáreas do conhecimento, como a botânica e, principalmente, a fitogeografia. Tais estudos, no território sul-rio-grandense, iniciaram no período dos viajantes naturalistas, no século XIX, com contribuições como as de Auguste de Saint-Hilaire entre 1820-1821, Robert Avé-Lallemant em 1858, Hermann von Ihering em 1880 e, destacadamente, Carl Axel Magnus Lindman entre 1892-1893 (ALVES et al, 2010).

Mais recentemente, outros trabalhos se destacam no estudo da vegetação no Estado do Rio Grande do Sul, como *A Fisionomia do Rio Grande do Sul*, de Balduino Rambo (1956), e também os estudos da vegetação feitos pelo IBGE, no extinto projeto RadamBrasil, Veloso e Góes-Filho (1982). Atualmente, alguns autores se destacam no estudo da distribuição da vegetação e sua vinculação com os fatores do meio físico, principalmente no oeste e sudoeste do Estado, são eles, Marchiori (2002; 2004), Alves (2008; 2012) e Deble (2011).

Entretanto, não há concordância no que se refere às diferentes tipologias de vegetação existentes no Rio Grande do Sul, nem sobre a terminologia utilizada para essa definição (ALVES et al, 2010). Fato que apresenta-se como consenso entre os pesquisadores, é a coexistência de vegetação florestal e campestre no Estado.

A ciência que se preocupa em investigar e compreender a dinâmica da vegetação natural em um determinado território é a fitogeografia. Esta ciência utilizada há muito tempo por pesquisadores e naturalistas é conceituada pelo naturalista argentino Angelo Cabrera (1971, p.1), em sua obra *Fitogeografía De La Republica Argentina*, da seguinte forma: “*La Fitogeografía o Geografía Botánica, es la rama de las ciencias que estudia la distribución de los vegetales sobre el globo terráqueo y las leyes que determinam esta distribución.*” No mesmo parágrafo o autor ressalta que os fatores climáticos como temperatura, umidade, luz, são os principais determinantes na distribuição das plantas no território, mas que também são importantes o relevo, o solo e a ação animal. O autor utiliza-se dessa complexa interação de fatores, onde por vezes pode ocorrer a anulação de um ou outro, para explicar como em uma região úmida e de solo permeável podem ocorrer espécies xerófilas e em uma região árida onde ocorram canais de drenagem, registre-se a ocorrência de espécies hidrófilas.

Ao referir-se aos territórios fitogeográficos, Cabrera destaca que:

Las diferentes especies vegetales se distribuyen sobre la tierra de acuerdo a sus exigencias climáticas y edáficas, y también de acuerdo a las oportunidades que hayan tenido para reproducirse y ampliar su área geográfica (CABRERA, 1971, p. 4).

Dessa maneira e formando associações com plantas de outras espécies é que se originam as associações vegetais clímax que gradualmente formam as grandes regiões fitogeográficas terrestres. Em seu trabalho, Cabrera considera a existência de sete grandes regiões fitogeográficas, a saber: *Holártica, Paleotropical, Neotropical, Capense, Australiana, Antártica e Oceânica*. Essas dividem-se em domínios, que por sua vez são divididos em províncias que, por fim, são formadas por distritos fitogeográficos.

Sampaio (1934) ao escrever sobre a *Phytogeographia do Brasil* esclarece que essa ciência pode ser dividida em quatro grandes ramos ou especialidades, sendo elas:

1.º - *Phytogeographia Floristica* ou simplesmente *Floristica* que estuda os aspectos da flora em cada região; é um ramo descritivo. 2.º - *Phytogeographia Ecologica* que estuda as relações entre as plantas e o meio; é um ramo interpretativo ou biológico, isto é, a feição geographica da Ecologia Vegetal; tem hoje um sub-ramo muito importante, a Sociologia ou Synecologia vegetal. 3.º - *Phytogeographia Genetica* ou *Epiontologia* que estuda a origem das plantas em cada região e no mundo; deste ramo destacou-se recentemente a Paleontologia Vegetal para constituir o 4.º ramo a seguir. 4.º - *Paleophytogeographia* ou *Phytogeographia paleontológica*, individualizada recentemente por Brockmann – Jerosch; estuda os vegetais fósseis, especialidade que compete essencialmente a geólogo, interessando, porém, muito à botânica e à biologia em geral (SAMPAIO, 1934, p. 22).

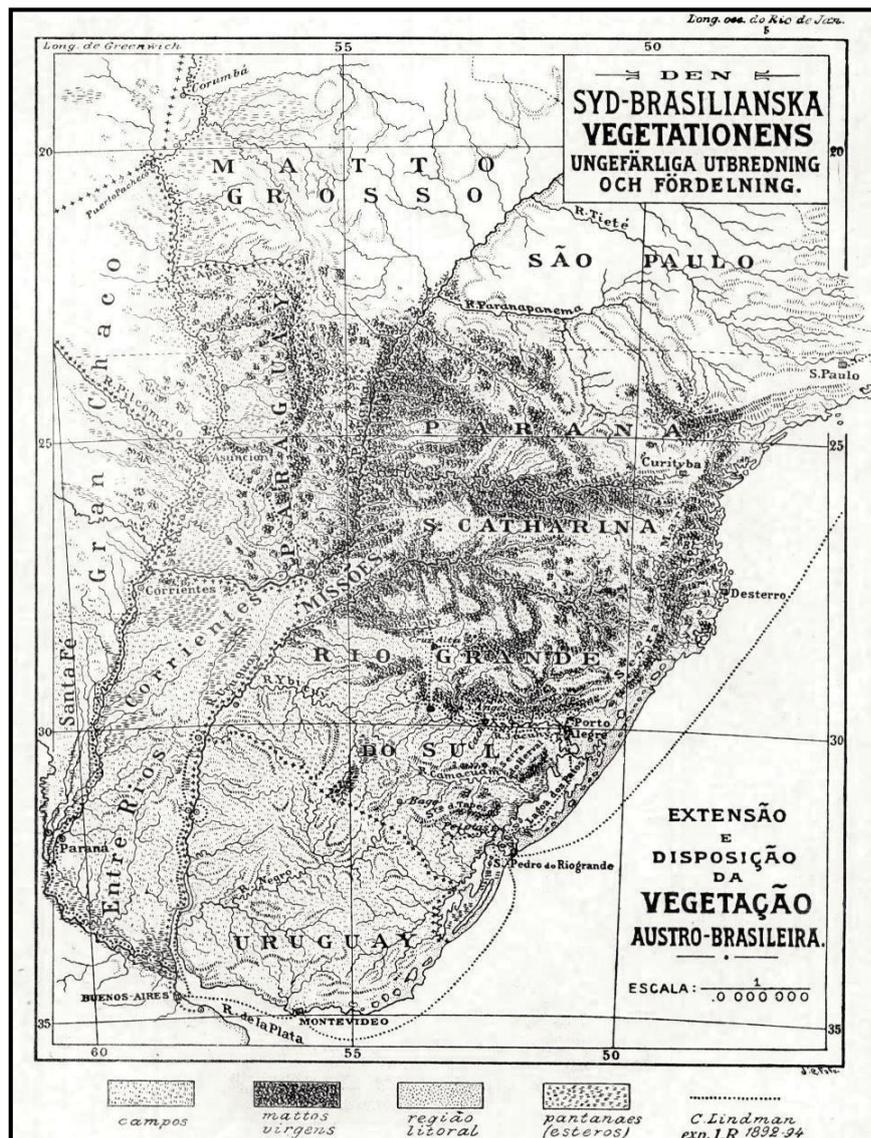
A fitogeografia apresenta-se como um campo de estudo bastante complexo, onde vários fatores do meio físico podem interagir entre si, anular-se ou mesmo destacarem-se na determinação da distribuição da vegetação.

A vegetação do Rio Grande do Sul é objeto de estudo de naturalistas e pesquisadores há muito tempo. Em termos conceituais, Marchiori (2006, p. 4) define vegetação como o “conjunto de plantas de uma determinada área sob os pontos de vista da fisionomia, estrutura e composição.” Sendo os termos fisionomia e estrutura relacionados à aparência geral e em estratos, respectivamente, da vegetação e o termo composição relacionado à flora.

A respeito da vegetação presente no estado do RS, Lindman (1974, p. 8) ressalta que “o território do Rio Grande apresenta, pois, um limitado número de

regiões vegetais; cada uma de área considerável e de natureza particular.” O autor dividiu a vegetação do estado em quatro regiões: “A região das areias movediças”, “Os campos”, “As matas” e os “Pantanaes”. A Figura 3 apresenta o mapa da vegetação Sul-Brasileira elaborado por Lindman em 1892/1894.

Figura 3 - Mapa da Vegetação Sul-Brasileira, elaborado por Lindman 1892-1894.



Fonte: Lindman (1974).

Lindman (1974, p. 63), ao referir-se aos “campos” e mais especificamente à “campanha do Rio Grande” resalta o aspecto predominantemente campestre da vegetação nessa região e diz que quando se usa o termo campanha, “quer-se indicar

a parte desprovida de matas, as grandes planícies, e sobretudo na parte sul, que são terrenos baixos em comparação com a parte norte.” O autor ressalta ainda mais essa característica no seguinte trecho:

A parte sul (e oeste) do Rio Grande é, pois, especialmente um território baixo que, sem limites naturais próprios, é continuado nos países vizinhos e, como nelles, quase que sem matas, porque matas continuas comparáveis às do território colonial existem somente em alguns pontos nos declives orientais das serras do Herval e dos Tapes, onde se acham os últimos avanços para o sul da grande região florestal brasileira. No mais, predominam os campos ou pastagens naturais que muito participam dos do planalto, mas que nos limites sul e oeste do estado apresentam traços de maior pobreza, maior esterilidade e de perfeita harmonia com o carácter dos «pampas». Pode-se, pois, afirmar com toda a segurança que no Rio Grande encontra-se uma zona de transição entre os dois grandes contrastes da natureza sul-americana, a mata virgem brasileira e os pampas argentinos (LINDMAN, 1974, p. 7).

Em seu estudo sobre a vegetação do estado, Lindman (1974) fez referência, também, à ocorrência de espécies arbustivas e arbóreas em meio aos campos como um aspecto sempre presente, como pode ser observado a seguir:

Mas os campos do Rio Grande, pelo que pude ver, nunca são exclusivamente campos arbustivos, prados, pastagens, gramados, estepes ou, em outros termos, nunca são completamente destituídos de árvores. Seria certamente difícil encontrar uma só milha quadrada em que não entrasse na paisagem um grupo de árvores ou uma parte florestal (LINDMAN, 1974, p. 115).

Ao escrever sobre “A Fisionomia do Rio Grande do Sul”, o padre Balduino Rambo (1956), que dividiu o estado em cinco Regiões Fisionômicas Naturais - “Litoral Rio-Grandense”, “Serra do Sudeste”, “Campanha do Sudoeste”, “Depressão Central” e “Planalto”, ressalta a ocorrência de matas em meio à predominância campestre ao referir-se à vegetação da campanha:

De todas as regiões naturais do Rio Grande do Sul, a Campanha do Sudoeste é a que mais ostenta o caráter do campo sul-brasileiro, pois a vegetação silvática só na borda setentrional chega a se constituir em mata virgem, deixando todo o resto à flora graminácea, sulcada de tênues cordões de galeria (RAMBO, 1956, p. 122).

Ao tratar da distribuição fisionômica da vegetação na Campanha do Sudoeste, Rambo (1956, p. 126) esclarece que há uma distribuição nas formações: “mata virgem, capões, mata arbustiva, cordões de galeria, mata palustre, vegetação dos tabuleiros, vassourais, campo, parque espinilho” e destaca ainda, que a peculiaridade

da distribuição da vegetação consiste na “predominância absoluta do campo gramináceo em comparação com o qual as outras formações quase desaparecem na fisionomia da paisagem”.

Quanto à composição florística da vegetação, Rambo (1956), destaca a ocorrência, em matas arbustivas e cordões de galeria, de sarandis, unha-de-gato, camboim, branquilha, sombra-de-touro, aroeira, salgueiro, crista-de-galo, etc. Na vegetação dos tabuleiros o autor faz referência à ocorrência de *Echinocactus*, *Cereus* e *Dyckia* (os quais denomina litófitos), além de ressaltar o aspecto xerófilo da vegetação e a ocorrência de líquens, gramíneas, leguminosas, compostas e vassourais. Já a “formação principal da campanha”, o campo, segundo Rambo, constitui-se principalmente por gramíneas, compostas e leguminosas.

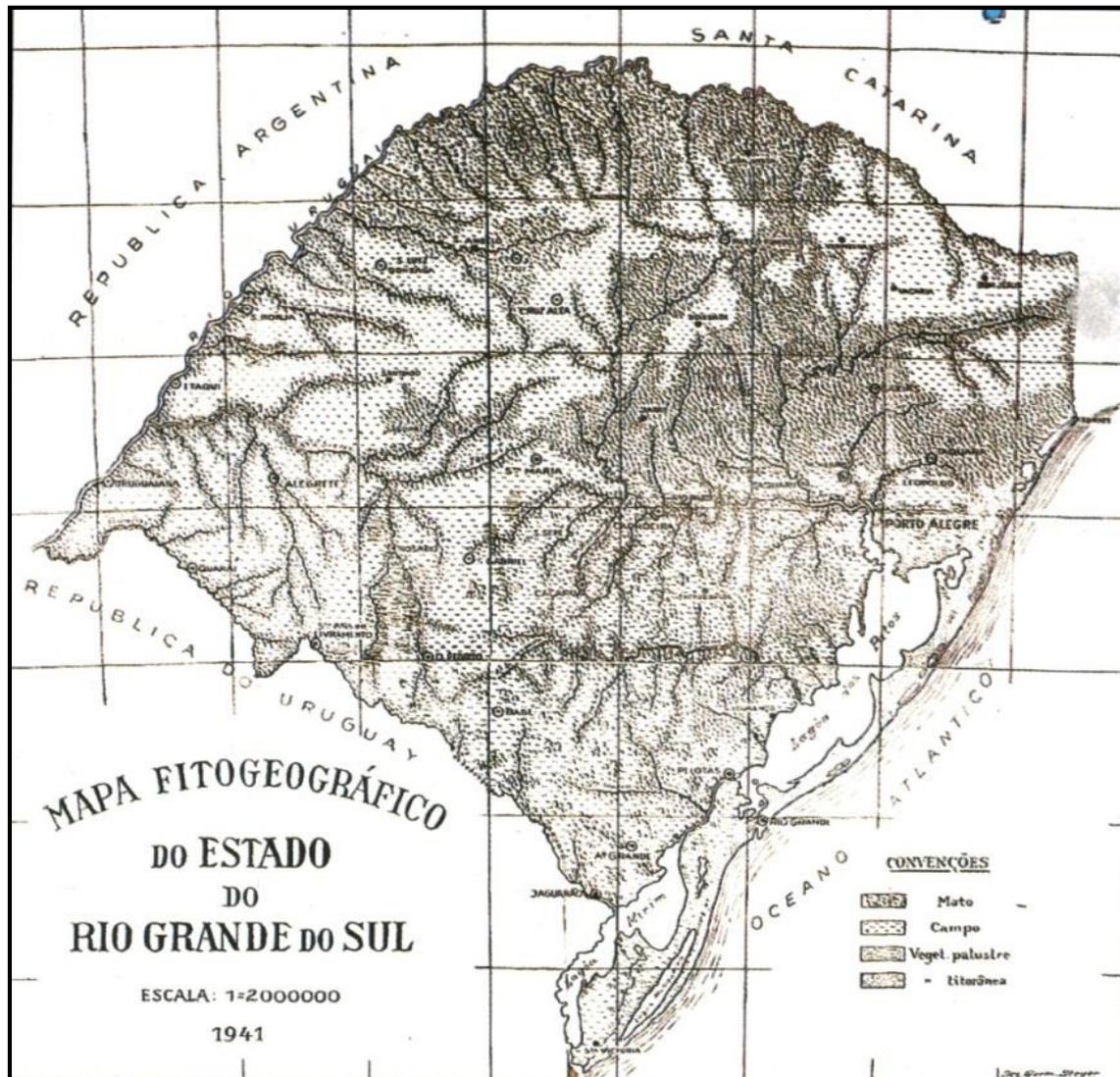
No trabalho de Rambo (1956) pode-se observar a descrição da área de transição entre as regiões do “Planalto” e da “Campanha do Sudoeste”. Esta transição destaca-se no seguinte trecho, em que o autor descreve as paisagens do planalto:

Na zona entre São Francisco de Assis e Boqueirão, a serra entra em flanco declínio. As ruínas de arenito com suas formas tabulares dominam a paisagem. Nelas, a vegetação em parte é campestre, em parte silvática; o mato, formando colares ao redor das elevações, é alto e denso, mas nas mesetas aparece um misto de parque de espinheiros e matinha xerófila. É aqui mais do que em qualquer outro lugar que se pode constatar o nexos entre a Serra Geral e as coxilhas areníticas da campanha: os tabuleiros e as torres ruinosas que se destacam na serra prolongam-se em linha, frequentes vezes interrompida, mas bem definida, até o Ibicuí, e além dele, até a Coxilha do Caverá (RAMBO, 1956, p. 318).

O mapa fitogeográfico do estado do Rio Grande do Sul (Figura 4), elaborado por Rambo (1956), apresenta a divisão da vegetação em *Mato*, *Campo*, *Vegetação palustre* e *Vegetação litorânea*. O autor descreve as paisagens da campanha no trecho:

Na impressão total da paisagem, a horizontalidade aparece exagerada pela vastidão dos campos baixos; a verticalidade aparece encurtada pelas formas pesadas dos tabuleiros; a variação introduzida pelos cursos de água ora dirigidos de sul a norte, ora de norte a sul impõe-se mais no mapa do que na realidade, por causa da insignificante altitude dos divisores da água; enfim, uma sensível tendência de se derramar lentamente no Uruguai ainda hoje caracteriza essa região, expressão fisionômica de sua formação geológica (RAMBO, 1956, p. 135).

Figura 4 - Mapa Fitogeográfico do Rio Grande do Sul, produzido por Rambo, 1941-1942.



Fonte: Rambo (1956).

Cabrera e Willink (1973) na obra “Biogeografia de America Latina” elaboram o mapa de “*Provincias Biogeograficas de America Del Sur*” (Figura 5) onde descrevem vinte e quatro províncias. Dentre elas, a “*Provincia del Espinal*”, e a “*Provincia Pampeana*”, ambas pertencentes ao “*Dominio Chaqueño*”, tomam a região oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Ao referirem-se à província Pampeana, os autores acima dizem que esta ocupa as regiões planas do leste da Argentina, o Uruguai e a metade austral do Rio Grande

do Sul. A descrição geral da vegetação dessa província feita pelos autores é citada a seguir:

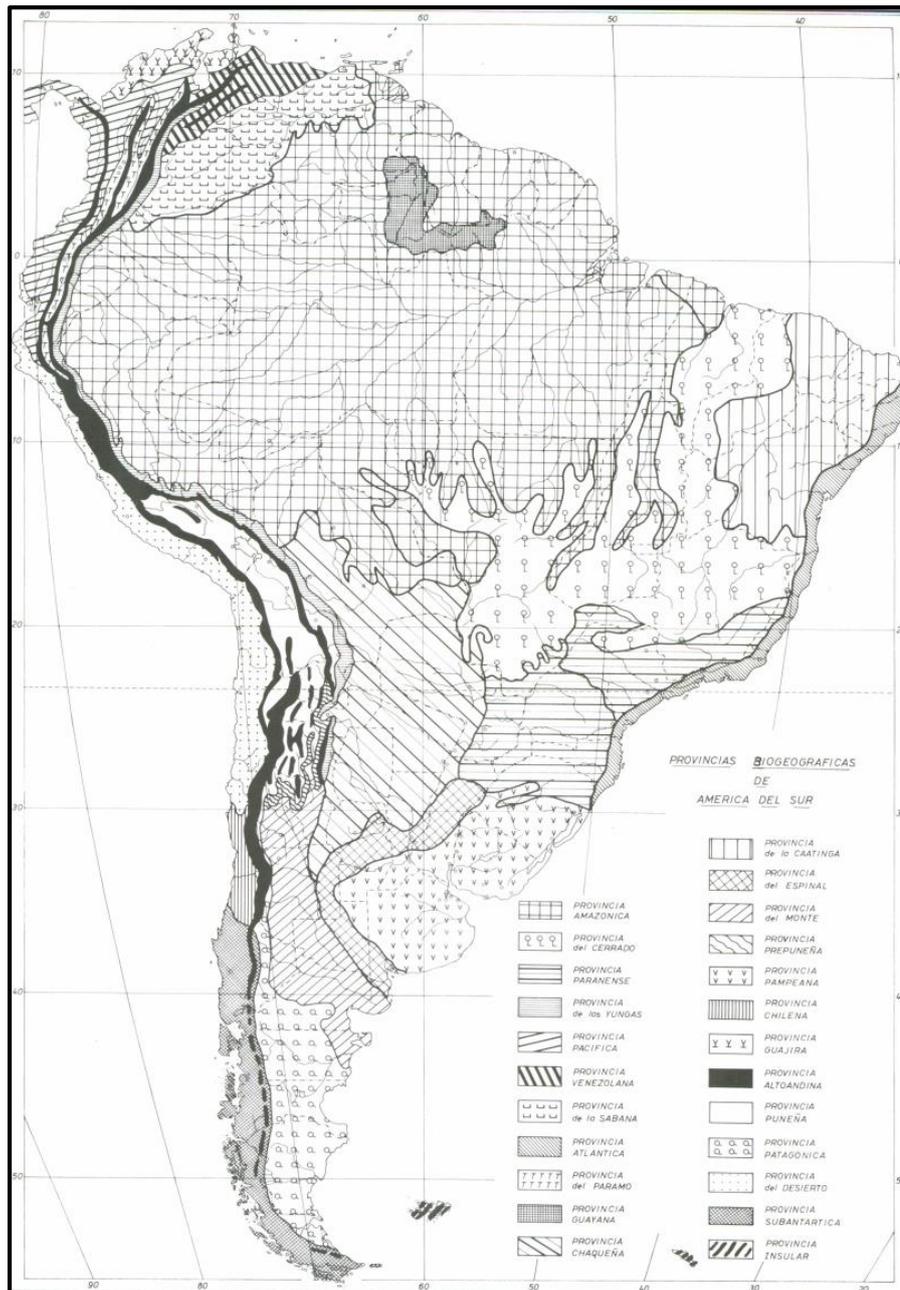
La vegetación dominante es la estepa o pseudoestepa de gramíneas que forman matas de 60 cm a un metro de altura, entre las cuales crecen numerosas especies herbáceas y algunos sufrutices y arbustos. Los pastizales tienen un período de reposo durante el invierno y, generalmente, otro durante el verano. A comienzos de primavera la pampa se muestra en todo su esplendor cuando florecen centenares de especies de gramíneas, semejando la estepa un mar de pasto policromo que se agita a impulsos del viento. Hay también numerosas comunidades edáficas, estepas halófilas, bosques marginales en las orillas de los ríos, formados por especies procedentes de la Provincia Paranense, y bosques xerófilos sobre las barrancas y bancos de conchilla. También hay numerosas comunidades hidrófilas y asociaciones saxícolas en las serranías (CABRERA e WILLINK, 1973, p. 79).

Segundo os autores por se tratar de um território de grande aproveitamento agrícola e agropecuário, a vegetação original dessa província foi quase totalmente destruída pelos cultivos ou alterada devido ao pastoreio intensivo. Por isso é necessário supor as características da vegetação original a partir de relictos ou campos pouco alterados pelo homem, mesmo assim, segundo Cabrera e Willink (1973, p. 80) *“siempre queda la duda del grado de pureza de estas muestras”*.

Cabrera e Willink (1973) diferenciam quatro distritos na província *Pampeana*: *“Distrito Uruguayense”*, *“Distrito Pampeano Oriental”*, *“Distrito Pampeano Occidental”* e *“Distrito Pampeano Austral”*. Segundo os autores o Distrito *Uruguayense* envolve o sul do Brasil, Uruguai e Entre Rios e Santa Fé, na Argentina. A comunidade clímax é a *“pradera de flechillas, o ‘flechillar”*, onde as espécies predominantes são as do gênero *Stipa*, associadas com *Poa*, *Eragrostis*, *Melica*, *Piptochaetium*, *Paspalum*, *Panicum* e muitas outras gramíneas, incluindo espécies de *Bothriochloa*, *Schizachirium* e outros gêneros de origem tropical. Segundo Cabrera e Willink (1973, p. 80), *“[...] hay numerosas comunidades edáficas; ante todo selvas ribereñas parecidas a las de la Provincia Paranense, si bien empobrecidas de norte a sur”*. Nestas florestas ribeirinhas, segundo os autores, predominam espécies como *“laureles”* (*Ocotea acutifolia*, *Nectandra falcifolia*), *“mata-olho”* (*Pouteria salicifolia*), *“chal-chal”* (*Allophyllus edulis*), *“branquilha”* (*Sebastiania brasiliensis*), *“lecherón”* (*Sapium haematospermum*), *“anacauita”* (*Blepharocalyx tweediei*) etc.

También hay bosques edáficos xerófilos sobre las barrancas de los ríos, com elementos florísticos del Espinal; predominan el tala (*Celtis spinosa*), el algarrobo (*Prosopis Alba*), el coronillo (*Scutia buxifolia*), la sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), el sauco (*Sambucus australis*), el ombú (*Phytolacca dióica*) y otras especies. Abundam comunidades hidrófilas: juncales de *Scirpus californicus*, pajonales de *Spartina densiflora*, etc. y también comundade sammófilas sobre dunas o suelos arenosos, con *Elionurus muticus*, *Poa lanuginosa*, *Panicum racemosum* y *Senecio crassiflorus* (CABRERA e WILLINK, 1973, p. 81).

Figura 5 - Mapa de províncias Biogeográficas da América do Sul.



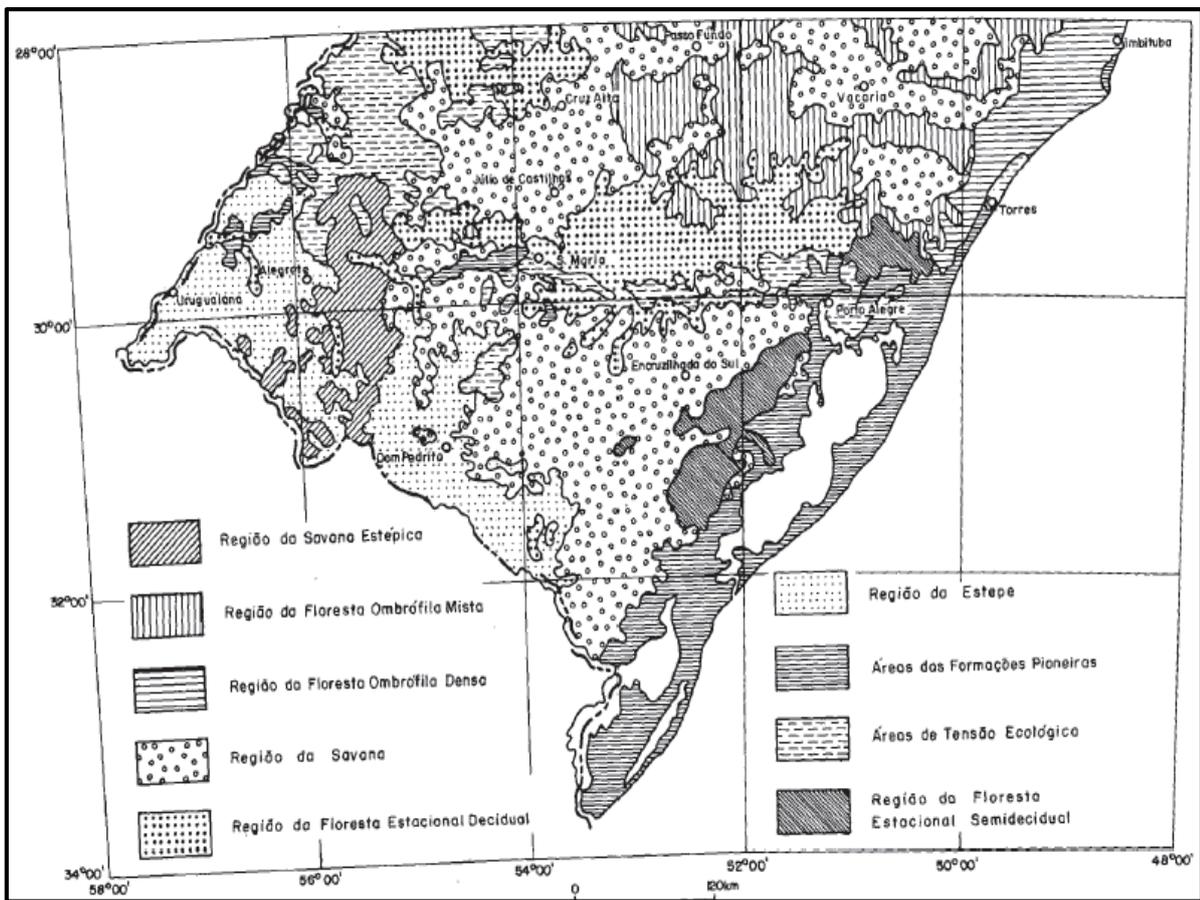
Em 1982, Veloso e Góes-Filho definiram sete “regiões fitoecológicas” e duas “áreas sob condições ecológicas especiais” para o Rio Grande do Sul (Figura 6), dessas, identifica-se, para a região oeste do Estado: “Região da Estepe”, “Região da Savana Estépica”, “Região da Savana” além de “Áreas de Tensão Ecológica”. A região da Estepe compreende a área do Planalto da Campanha e as depressões do rio Negro e Ibicuí, ao sul e oeste do Estado. Nesta formação são reconhecidas duas unidades: Estepe Parque e Estepe Gramíneo-Lenhosa. Na Estepe Parque, localizada no extremo sudoeste do Estado, os elementos arbóreos são mais frequentes, enquanto na Estepe Gramíneo-Lenhosa, os elementos arbóreos ocorrem em frequências menores, restringindo-se a regiões mais protegidas e terrenos mais acidentados.

A região da Savana Estépica,

[...] está localizada, em sua maior parte, nas áreas dissecadas do Planalto da Campanha, recobrimo arenitos do Jurássico, basaltos do Juracretáceo, assim como partes menores das áreas vizinhas, da Depressão do Rio Ibicuí, sob sedimentos do Permiano e Triássico (VELOSO e GÓES-FILHO, 1982, p. 547).

Quanto à cobertura vegetal, Veloso e Góes-Filho (1982, p. 562), afirmam que a região da savana estépica é formada por “hemiptófitas savanícolas dos gêneros *Andropogon*, *Aristida* e *Sorghastrum*”; “caméfitas representadas por cactáceas, leguminosas anãs e compostas” e “fanerófitas estépicas dominadas pelos gêneros *Astronium*, *Schinus*, *Lithraea* e *Acacia*”.

Figura 6 - Mapa de regiões fitoecológicas.



Fonte: Veloso e Góes-Filho(1982).

Para a região da “Savana” foram consideradas as formações campestres, muitas vezes intercaladas por árvores isoladas, capões de mata nativa e matas galeria. Essas condições permitiram que a região fosse subdividida em três formações distintas, seguindo parâmetros fitofisionômicos: Arbórea Aberta, Parque e Gramíneo-Lenhosa, todas apresentando formações ciliares. A Savana Arbórea Aberta compreende, em grande parte, a região do Escudo Sul-Rio-Grandense, com sua vegetação típica apresentando aglomerados arbóreos. A Savana Parque ocorre em duas áreas distintas: os Campos de Cima da Serra e parte do Escudo Sul-Rio-Grandense, reunindo elementos da Floresta Estacional e da Floresta Ombrófila Mista, respectivamente. A Savana Gramíneo-Lenhosa ocorre junto ao Planalto das Araucárias e em parte na região do Escudo, caracterizada sempre pela presença predominante de gramíneas.

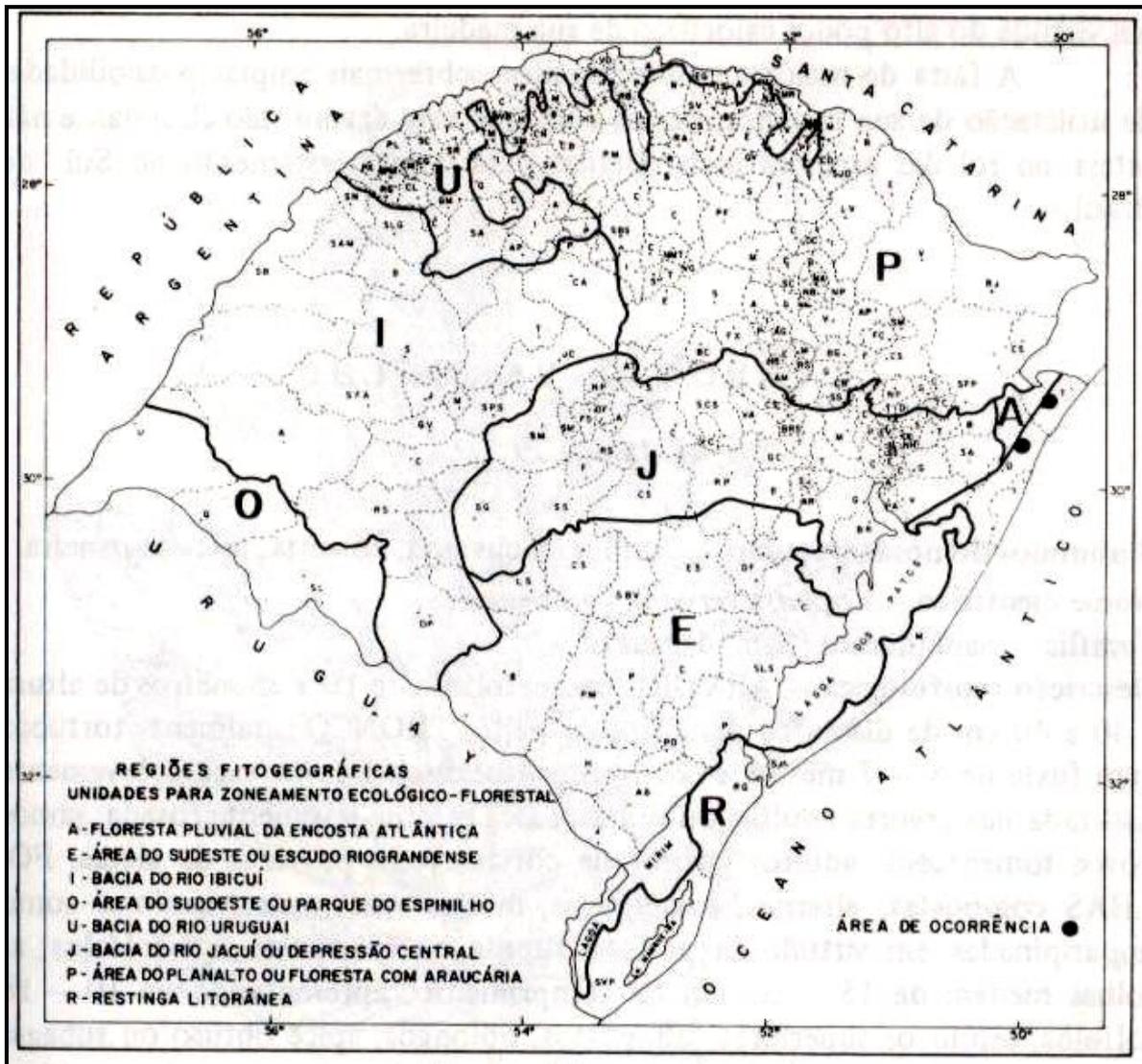
As áreas de tensão ecológica, segundo Veloso e Góes-Filho (1982, p. 599) “são constituídas pela interpenetração de floras entre duas ou mais regiões fitoecológicas”. Os autores ressaltam ainda que tais contatos apresentam-se na forma de enclave, pois a flora de cada região mantém sua característica ecológica sem se misturar. Na região oeste do Estado, essa área corresponde ao “Contato Savana/Savana Estépica”. Quanto à vegetação, segundo os autores, destacam-se “cactáceas do gênero *Opuntia*”, “gramíneas rizomatosas”, “cespitosas”, bem como “caméfitas pertencentes às famílias das oxalidáceas, leguminosas, umbelíferas e outras”. Elementos fanerófitos com as espécies: “*Astronium balansae* (pau-ferro)”, “*Tabebuia avellanadae* (ipê-roxo)”, “*Enterolobium contorticaliquum* (timbaúva)”, “*Schinus molle* (aroeira-salsa)”, “*Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha)”, “*Lithraea molleoides* (aroeira-de-fruto-achatado)”, “*Celtis talla* (taleiro)”, entre outras.

Também ao se referir à vegetação do estado do Rio Grande do Sul, Reitz, Klein e Reis (1988), identificaram oito regiões fitogeográficas: “Floresta da Encosta Atlântica”, “Área do Sudeste (Escudo Rio-grandense)”, “Bacia do Rio Ibicuí”, “Área do Sudoeste (Parque do Espinilho)”, “Bacia do Alto Rio Uruguai”, “Bacia do Rio Jacuí (Depressão Central)”, “Floresta do Planalto com presença de Araucária” e “Restinga Litorânea” (Figura 7). Ao referirem-se à bacia do Rio Ibicuí, Reitz, Klein e Reis (1988, p. 12), ressaltam que:

Trata-se na sua maior parte de área de contato de florestas e campos, predominando a floresta nas partes mais baixas e mais próximas aos rios, formando largas e desenvolvidas matas de galeria, enquanto nos divisores de água, predominam os campos (REITZ et al, 1988, p. 12).

As espécies florestais características, citadas pelos autores, são o “pau-ferro (*Astronium balansae*), o toropi (*Sapium glandulatum*), a aroeira (*Lithraea molleoides*), a sina-sina (*Parkinsonia aculeata*) e o inhanduvaí (*Acacia caven*)”.

Figura 7 - Mapa Fitogeográfico do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Reitz, Klein e Reis (1988).

Mais recentemente, podem ser citados os trabalhos de José Newton Cardoso Marchiori sobre a vegetação do Rio Grande do Sul em que, mais especificamente da região oeste do Estado, a obra *Fitogeografia do Rio Grande do Sul: Campos Sulinos*, do ano de 2004, traz uma importante e essencial contribuição à discussão da dinâmica entre campos e florestas no Estado, bem como, às divergências terminológicas utilizadas para designar o tipo de vegetação da referida região.

Referindo-se à coexistência de campos e florestas no Estado do Rio Grande do Sul, Marchiori (2004) faz referência a tal observação, feita por Lindman em 1906, e esclarece que os campos sulinos devem ser interpretados como “formações

relictuais” em relação às florestas no atual clima ombrófilo, pois, além de não possuírem vantagens adaptativas em relação às florestas,

[...] o umedecimento e aquecimento do clima, verificados no Holoceno, propiciou a expansão florestal sobre antigas áreas campestres, tanto a partir de eventuais refúgios, sobreviventes da longa fase xerotérmica, no último período glacial pleistocênico, como de áreas florestais situadas mais ao norte (MARCHIORI, 2004, p. 19).

O autor ressalta, também, que além de terem perdido espaço para as florestas no estado, os campos sofreram “profundas alterações florísticas e estruturais” devido à modificação climática citada anteriormente. Outro fator referenciado por Marchiori (2004, p.18) para a “explicação da coexistência e o limite brusco entre florestas e campos” no Rio Grande do Sul “deve ser buscada na biologia das plantas representativas dos respectivos biomas e em suas vinculações com o relevo”.

Este “avanço” da vegetação florestal sobre a original predominância campestre no oeste do Rio Grande do Sul pode ser associado também às variações topográficas do terreno e à dinâmica da água no solo. Entretanto, são raros os estudos detalhados que fazem a relação entre esses elementos da paisagem, com a utilização de informações espacializadas.

Quanto às diferentes terminologias empregadas para designar as formações campestres, Marchiori (2004) destaca as denominações Estepe, Savana, Savana-Estépica e Pradaria como inadequadas, após trazer uma discussão sobre cada uma delas e imprimir suas considerações. Em virtude disto e de acordo com a proposição de Lindman em 1906, adotada também por Rambo em 1956, Marchiori (2004) defende a denominação tradicional de *campos*, para a vegetação sul-rio-grandense. O autor aponta a existência de diferentes fitofisionomias nos *Campos Sulinos*, como as “Florestas de Galeria”, os “Capões”, os “Capões e parques com pau-ferro”, o “Parque-Espinilho”, os “Palmares de butiá-anão”, os “Vassourais e chircais” além de “Árvores solitárias” e “Fanerófitas invasoras”.

Alves (2008) refere-se à diversidade de terminologias apontadas anteriormente por Marchiori (2004), dizendo que:

[...] mesmo sem consenso na terminologia fitogeográfica do Estado, entende-se que todas as contribuições à Fitogeografia do Rio Grande do Sul são válidas e de extrema importância, pois revelam informações de diferentes óticas, obtidas em diferentes épocas, servindo como fundamento a novas propostas de estudos, com vistas à compreensão e ao entendimento de como se procedeu a ocupação e a distribuição da vegetação nativa no território sul-rio-grandense (ALVES, 2008, p. 32).

Em trabalho mais recente, Alves et al (2010), reafirmam essa existência de fitofisionomias distintas em meio à vegetação da campanha sul-rio-grandense, a partir de um estudo feito na região oeste do Estado. Os autores identificaram e caracterizaram dez tipologias de vegetação, com base em aspectos fisionômicos, florísticos e fitoecológicos. Tais tipologias identificadas são: “Campos”, “Campos em colinas de arenito”, “Campos com curupis em colinas de arenito”, “Campos com butiá-anão em colinas de arenito”, “Campos em colinas vulcânicas”, “Campos com espinilhos em colinas vulcânicas”, “Vegetação das Cornijas de Arenito”, “Vegetação dos Morrotes de Arenito”, “Capões de mato”, “Floresta de Galeria” e “Fanerófitas Solitárias”.

Segundo os autores,

[...] esta diversidade fisionômica e florística, previamente reportada por outros pesquisadores, vincula-se, principalmente, às condições climáticas estabelecidas a partir da transição Pleistoceno-Holoceno, fato que explica a ocorrência, em reduzido espaço geográfico, de uma mistura de espécies típicas de clima ombrófilo e xerófilo, em plena disputa pelo território (ALVES et al, 2010, p. 621).

Alves et al (2010) realizaram um estudo correlativo, relacionando cada tipologia de vegetação definida com o “suporte geoecológico” de diferentes unidades morfolitológicas. Nesta correlação foram descritos: - campos em colinas de arenito: apresentam conjunto florístico próprio, com significativa ocorrência de nanofanerófitas, principalmente Mirtáceas. Foram subdivididos em “campos com butiá-anão em colinas de arenito” e “campos com curupis em colinas de arenito”, devido à ocorrência de diferentes elementos fanerofíticos, sendo que, nesse último, o curupi (*Sapium haematospermum* Müll. Arg.) foi considerada pelos autores uma espécie “geo-indicadora” de substrato rochoso, pela ocorrência restrita à área de substrato arenítico.

- campos em colinas vulcânicas: conjunto florístico distinto do apresentado pelos campos em colinas de arenito, embora, por vezes, espécies típicas de cada

conjunto ocorram associadas em áreas de contato, devido à estreita camada vulcânica. Subdivide-se em “campos com espinilho em colinas vulcânicas”, onde o espinilho (*Vachellia caven* (Molina) Molina) foi considerado espécie “geo-indicadora” de substrato rochoso pela ocorrência sempre associada a unidades com substrato vulcânico.

- vegetação das cornijas de arenito: associação arbustivo-arbórea composta por cactáceas, arbustos e algumas árvores xerófilas vinculadas aos blocos de rochas.

- vegetação dos morrotes de arenito: semelhante ao conjunto florístico das cornijas com ocorrência também de grande quantidade de ervas e arbustos. Nessas unidades, segundo os autores, a vegetação distribui-se de forma muito particular.

- capões-de-mato: constituídos de espécies típicas da floresta de galeria, formam pequenos núcleos florestais associados, principalmente, às drenagens de primeira e segunda ordem.

- floresta de galeria: associada a planície de acumulação, acompanha o canal principal e afluentes de maior porte do arroio estudado, por vezes conectando-se aos capões-de-mato e à vegetação de cornijas e morrotes.

Mais recentemente, Deble (2011), publicou *A Vegetação Campestre no Bioma Pampa*, onde caracteriza a vegetação campestre presente neste bioma, vegetações próprias, bem como relações fitogeográficas com outras fisionomias na América do Sul.

2.5 ESTUDOS DE CORRELAÇÃO ENTRE FATORES AMBIENTAIS E VEGETAÇÃO

São poucos os estudos que buscam estabelecer padrões de correlação entre tipologias de vegetação e as variáveis físicas do ambiente, sobretudo utilizando geotecnologias e técnicas automatizadas para as análises.

Em trabalho intitulado “*Dry Vegetation in Relation to the Physical Environment in the Baja California Peninsula, Mexico*”, Villers-Ruiz et al (2003) realizaram um estudo para identificar padrões de variação na composição florística e determinar se os padrões de conjuntos de espécies poderiam ser explicados em termos de variáveis ambientais em uma área de 4.768 km², no município de Los Cabos, ao sul da Península de Baja Califórnia, no México. Os autores selecionaram 38 locais de amostragem, analisando áreas de 50 km² em cada local, onde foi realizado

levantamento florístico e do valor de abundância relativa por espécie e determinadas as variáveis físicas relativas à altitude, litologia, tipo de solo, temperatura e precipitação total, sendo os tipos de vegetação divididos em floresta tropical seca (DTF) e escrube xerófilo (XS), que juntos representam 83% da área de estudo. Para isso utilizaram interpretação de fotos aéreas na escala 1:750.000, observação de campo e sobreposição em SIG (ILWIS GIS), mapas temáticos digitais existentes e bancos de dados tabulares auxiliares, através de dados estatísticos, análise multivariável, Análise de Componentes Principais (PCA) e técnica de ordenação Canônica de Correspondência (CCA).

Dentre os resultados obtidos, os autores determinaram que quase todos os locais de encostas inferiores dos cânions coincidem com comunidades DTF, com valores médios mais altos de altitude, declividade e precipitação e menor valor médio de temperatura, enquanto as comunidades XS ocorrem principalmente nos locais com tipo de relevo de piemontes, com valores médios de altitude, temperatura e precipitação e valor médio de declividade.

Em trabalho semelhante, realizado em área úmida do vale do rio Biebrza, nordeste da Polônia, foi realizado um estudo da relação entre variáveis ambientais físicas e a distribuição espacial da cobertura de vegetação no interior da região úmida do vale do rio Biebrza (KAWULE, 2007). O autor usou variáveis topográficas e hidrológicas para explicar a distribuição espacial dos tipos de cobertura vegetal, utilizando para isto imagens ASTER e mapa NDVI, além de análises estatísticas, estas incluíram MANOVA com medidas repetidas, teste de *Kruskal-Wallis* e análise de correspondência múltipla (MCA). As variáveis físicas consideradas foram nível da água, elevação (devido à sua influência direta sobre o fluxo de águas subterrâneas), declividade e aspecto.

Os resultados desse trabalho, baseados em dados estatísticos, apresentaram maior relação com algumas variáveis e menor relação com outras, o nível da água, por exemplo, apresentou relação estatisticamente significativa, tanto em MANOVA quanto em MCA. A análise revelou que a vegetação lenhosa, como florestas de coníferas e caducifólias, era dominante em áreas onde o nível da água era mais baixo do que em áreas cobertas por tipos de vegetação de pântanos. Além do nível da água, a relação com a elevação também apresentou resultados estatisticamente significativos.

Silva et al (2015) realizaram estudo da relação solo/vegetação em ambiente de Cerrado sobre influência do Grupo Urucua, em uma área de aproximadamente 32 mil hectares entre os estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia. Para isso, utilizaram imagens SRTM, através do *software* Arcgis 10 para elaboração dos mapas temáticos, o mapa de vegetação foi elaborado utilizando imagens orbitais do sensor HRC do sistema CBERS-2B e do SPOT-5, o mapeamento foi validado a campo por meio de caminhamento, com auxílio de GPS.

Para a caracterização da vegetação utilizaram a proposta por Ribeiro e Walter (2008) dividindo-a em formações florestais, savânicas e campestres, e dentro de cada uma delas as distintas tipologias. O mapeamento dos solos foi realizado a partir do levantamento de reconhecimento em escala de 1:50.000, através do caminhamento e registro em GPS de navegação, amostraram 25 perfis completos e cinco amostras extras. Ao todo foram coletadas 130 amostras de solos. As descrições foram realizadas conforme Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al, 2005) e os solos foram classificados conforme a EMBRAPA (2006).

Para determinar a relação da vegetação com os resultados das análises químicas e físicas dos solos foram utilizados métodos de ordenação presentes no programa *Statistica 11*, criando-se valores diferentes aos variados tipos de fitofisionomias encontrados.

Os resultados desse estudo mostraram, dentre outras coisas, que o teor de matéria orgânica é um dos principais fatores de diferenciação entre os ambientes estudados e juntamente com a textura influenciaram nas características dos solos e na distribuição das fitofisionomias na área.

Bispo (2012) estudou os efeitos da geomorfometria na caracterização florístico-estrutural da floresta tropical na região de Tapajós com dados SRTM e PALSAR, com vistas a modelagem da distribuição estrutural e de biomassa aérea na Floresta Nacional do Tapajós. Para isso coletou os dados florísticos em campo e os dados geomorfométricos derivados de SRTM e polarimétricos derivados de PALSAR extraídos nos pontos de coleta para posterior análise junto aos dados de vegetação, cujas relações foram estabelecidas através de análises de regressão (análise de correlação canônica e regressão múltipla). A autora testou as análises de correlação entre vegetação e dados SAR e geomorfométricos separadamente e posteriormente em conjunto em análises de regressão múltipla em um modelo estatístico mais abrangente para estimativa de biomassa. A autora considera que

[...] as variáveis geomorfológicas tem grande potencial de aplicação em estudos ecológicos e florestais não só através de seu uso isolado, mas também a partir de sua integração com outros tipos de dados sensoriais, como insumo para a compreensão da paisagem, em especial da distribuição e caracterização da vegetação (BISPO, 2012, p. 100).

Em trabalho anterior, Bispo (2007) avaliou o potencial das variáveis geomorfológicas extraídas de dados SRTM para identificação de tipos vegetacionais em quatro áreas na Caatinga, Cerrado e Floresta Amazônica, utilizando dados SRTM e de vegetação já existentes. Segundo a autora as variáveis mais importantes na distinção das tipologias de vegetação foram a elevação e a curvatura horizontal e curvatura vertical, nos seus resultados foi possível o mapeamento até o nível de subfisionomias, o que considerou aquém do detalhamento temático dos mapas base, em função da co-ocorrência de classes de vegetação com semelhanças estruturais.

2.6 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DA SERRA DO CAVERÁ

A Serra do Caverá localiza-se no divisor de águas dos rios Ibirapuitã a oeste e Ibicuí da Armada a leste, constituindo-se no interflúvio das bacias hidrográficas dos rios Ibicuí e Santa Maria, como pode ser observado no mapa da Figura 8, produzido pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), que apresenta a distribuição das grandes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, nele pode-se observar que a área de estudo localiza-se em região de nascentes das bacias U070 e U050.

A Serra do Caverá consiste no *front* da Cuesta de Haedo, relevo que marca o limite entre as unidades geomorfológicas da Bacia Sedimentar do Paraná e Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense. O planalto em bacias sedimentares tem como característica estar circundado por depressões periféricas e nos contatos com essas, relevos escarpados caracterizados por frentes de cuestras.

Segundo Ross (2008) os planaltos e chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná são formados por terrenos com idades desde o Devoniano até o Cretáceo e rochas vulcânicas básicas e ácidas do Mesozoico. Todo contato dessa unidade com depressões circundantes é feito através de escarpas, que no Rio Grande do Sul é sustentada quase exclusivamente por rochas efusivas, que se identificam como frentes de cuestras únicas ou desdobradas.

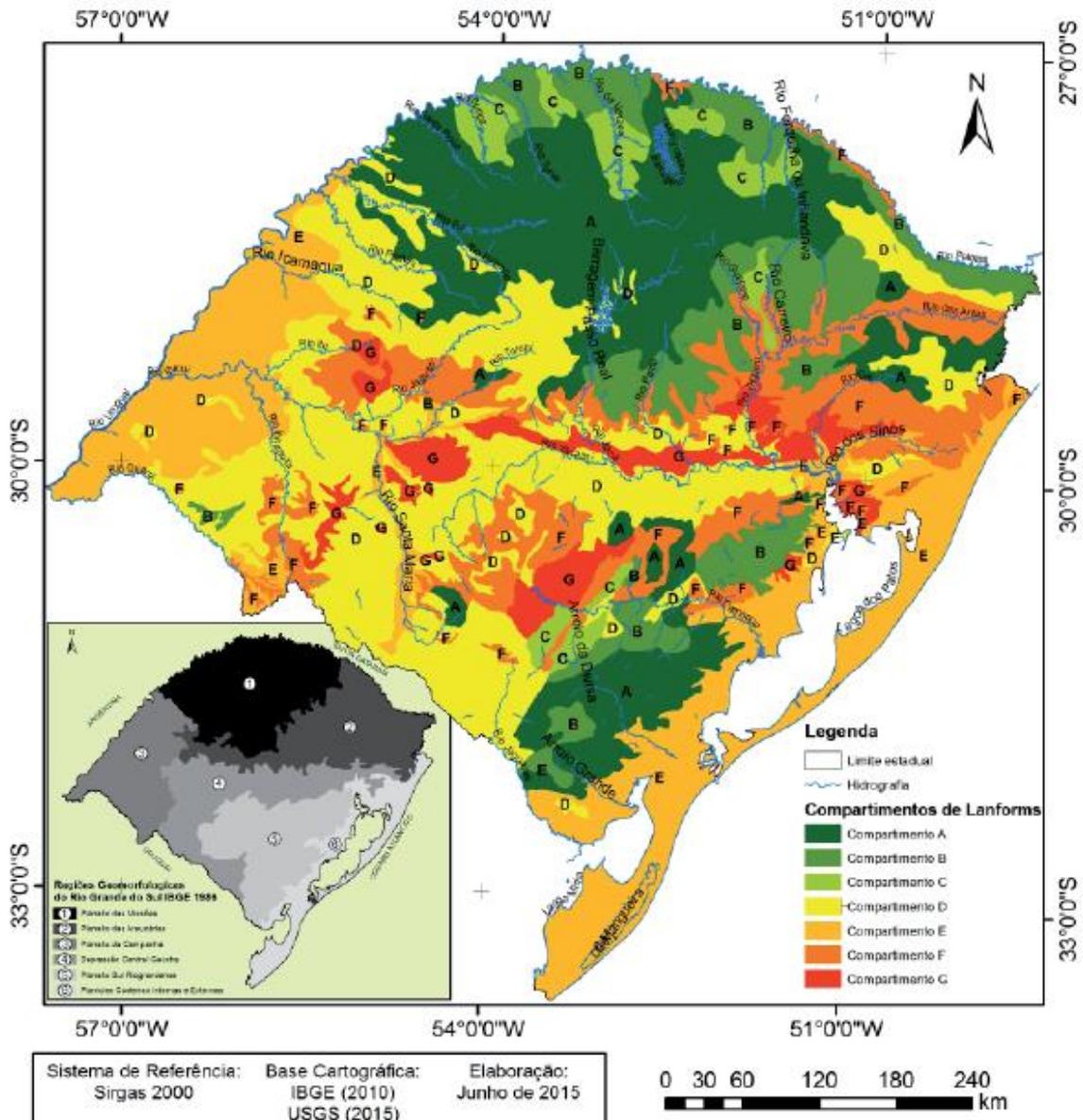
Robaina et al (2008), elaboraram uma proposta de classificação geomorfológica da bacia do Rio Ibicuí, com base na classificação taxonômica de Ross (1992) e utilizando as denominações já empregadas para compartimentação no Rio Grande do Sul. De acordo com essa classificação, a Serra do Caverá insere-se, em um primeiro nível no *Planalto da Serra Geral* e, em segundo nível no *Planalto da Campanha*, representado por um relevo ondulado, de altitudes inferiores a 300m, onde, segundo os autores “a pouca espessura dos derrames nesta porção possibilita o afloramento de arenitos em algumas porções, com o desgaste das camadas superiores, observados, também, na base de morros testemunhos” (ROBAINA et al, 2008, p.2625).

No terceiro nível de compartimentação, a Serra do Caverá insere-se nas *Unidades II.ii.1 - Modelados dos Patamares da Campanha*, cujas formas de relevo predominantes são colinas com morrotes associados, nas *Sub-Unidades II.ii.1.A*, caracterizada pelo substrato vulcânico e os solos rasos, argilosos e com blocos de rocha na superfície e imersos, e, predominantemente, na *Sub-Unidade II.ii.1.B* em que “ocorre ampla exposição de rochas areníticas com as rochas vulcânicas formando delgadas capas no topo dos morrotes e colinas”, onde os solos são do tipo “argissolos arenosos e ocorrem associados a afloramentos de rocha arenítica coesa e solos rasos com blocos de rocha vulcânica” (ROBAINA et al, 2008, p.2629).

Em um trabalho mais recente Robaina et al (2016), propuseram uma compartimentação do estado do Rio Grande do Sul a partir da identificação dos elementos do relevo com base nos *geomorphons*, determinados em classificação topográfica automatizada, utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE). A partir

dos resultados, os autores definiram sete compartimentos para o estado (Figura 9), sendo que na Serra do Caverá, ocorrem três desses compartimentos, a seguir descritos.

Figura 9 - Compartimentos de formas de relevo do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Robaina et al (2016).

O compartimento *D* - *Áreas Planas associadas a encostas de bases amplas*, que é o predominante no estado, é representado por formas planas associadas a elevações isoladas, encostas com bases amplas e alguns ressaltos entre meio e topo

das encostas. Este compartimento, na região da área de estudo, está associado as regiões geomorfológicas Planalto da Campanha e Depressão Central (IBGE, 1986), formados por rochas vulcânicas intermediárias e rochas sedimentares, respectivamente.

O compartimento *F - Encostas amplas com rebaixamentos na meia-encosta*, é constituído por amplas encostas, com ocorrência de ressaltos e elevações secundárias e também de rebaixamentos e cavidades. Ocorre, na área de estudo, entre as regiões do Planalto da Campanha e Depressão Central, constituído por rochas vulcânicas básicas intercaladas com arenitos.

O compartimento *G - Encostas com base ampla e topos com ressaltos*, é bem definido, com encostas de bases amplas e topo com elevações alongadas e ressaltos. Constitui-se no divisor de águas das bacias dos rios Ibirapuitã e Santa Maria, compondo a transição Planalto da Campanha e Depressão Central.

2.6.2 Geologia

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul elaborado pela CPRM (Wildner et al, 2008) em escala 1:750.000, a área onde encontra-se a Serra do Caverá é constituída por formações de diferentes períodos geológicos, ambas pertencentes à Província Paraná (Figura 10).

Figura 10 - Grupos e formações geológicas ocorrentes na área de estudo.



Três destas formações pertencem ao Grupo São Bento do período Cretáceo: a *Formação Serra Geral*, que caracteriza-se por derrames de basaltos, andesitos, riolitos e riodacitos, onde intercalam-se arenitos intertrápicos Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos do meio ao topo da sequência (Figura 11). A *Fácies Alegrete* compreende derrames de composição intermediária a ácida, variando entre andesitos e riolitos, microgranulares, melanocráticos, de aspecto sacaroide com frequentes texturas de fluxo e autobrechas no topo e base dos derrames. A *Fácies Gramado* apresenta derrames basálticos granulares finos a médios, melanocráticos cinza, com intercalações com os arenitos Botucatu (WILDNER et al, 2008).

Figura 11 - Rocha vulcânica formando uma camada no topo de morrote.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Essas intercalações entre basalto e arenito Botucatu ocorrem com grande frequência e foram constatadas durante os trabalhos de campo feitos na área de estudo em todos os perfis realizados. Nesses contatos rochosos é muito frequente a associação da vegetação florestal, o que destaca-se na paisagem (Figura 12).

A *Formação Botucatu* do período Jurássico, caracteriza-se por arenito fino a grosso, com grãos bem arredondados de alta esfericidade, dispostos em estratificação cruzada de grande porte. Refere-se à ambiente continental desértico, com depósitos de dunas eólicas.

Figura 12 - Afloramento de arenito Botucatu formando cornija à meia encosta de morrote com topo vulcânico, com vegetação associada.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

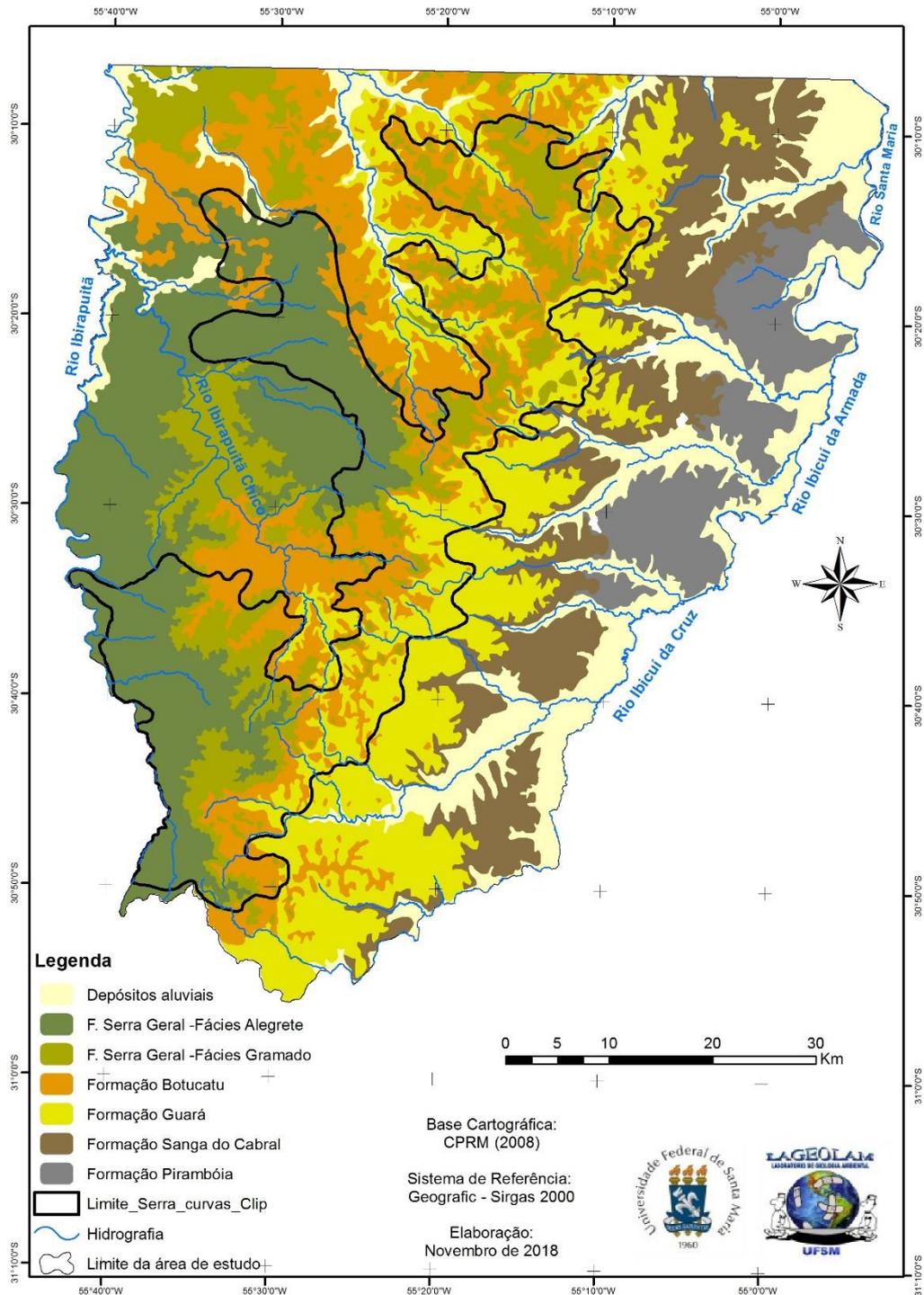
A *Formação Guará*, do Jurássico, ocorre em faixa central ao longo da área de estudo, apresenta arenito fino a conglomerático de cores esbranquiçadas a avermelhadas. Representa ambiente continental desértico com depósitos fluviais, eólicos e lacustres.

Próximo às áreas de depósitos aluviais do alto curso do rio Ibicuí da Armada, ocorre também a *Formação Sanga do Cabral*, pertencente ao Grupo Rosário do Sul, do Triássico inferior. Consiste em corpos tabulares ou lenticulares alongados, brecha e conglomerados intraformacional, Siltito e raro Argilito. Representa ambiente continental, fluvial entrelaçado, contendo fragmentos de vertebrados fósseis.

Já nas áreas de depósitos do baixo curso, localizadas a leste, em direção ao município de Rosário do Sul, ocorre a *Formação Pirambóia*, do Grupo Passa Dois, período Permiano, caracterizada por arenito médio a fino, de geometria lenticular bem desenvolvida. Relativa à ambiente continental, eólico com intercalações fluviais.

O mapa da Figura 13 apresenta as litologias encontradas na área de estudo, com base nos dados do CPRM (WILDNER et al, 2008).

Figura 13 - Mapa de litologias presentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

2.6.3 Solos

De acordo com Streck et al (2002), as principais classes de solos identificadas na região da Serra do Caverá são os Argissolos, que caracterizam-se por apresentar um horizonte B mais argiloso no perfil, são solos profundos a muito profundos e bem drenados, seu perfil apresenta uma sequência A-Bt-C ou A-E-Bt-C. A origem desse tipo de solo é diversa, podendo ser de rochas basálticas, graníticas, areníticas ou outras. O tipo PVd2 - *Argissolo Vermelho distrófico arênico*, caracteriza-se por apresentar coloração vermelha em seu horizonte B textural, característica química de saturação por bases menor que 50% (distrófico) e por apresentar textura arenosa da superfície até o horizonte Bt, quando este inicia entre 50 e 100 cm (arênico). Segundo os autores, Argissolos distróficos apresentam baixa fertilidade natural.

Os Argissolos Vermelhos distróficos arênicos ocorrem, na área de estudo, também associados com *Alissolo Hipocrômico argilúvico* (APt1), que caracterizam-se por apresentar elevados teores de alumínio, são solos medianamente profundos a profundos que possuem perfil com sequência de horizontes A-B-C. Por sua característica de acidez elevada, esses solos possuem baixa fertilidade química e elevada toxidez por alumínio.

Outra associação com significativa ocorrência na área de estudo é de Neossolo Litólico eutrófico com Argissolo Vermelho distrófico e Vertissolo Ebânico órtico (RLe4-PVd2-VEo2-AR) e afloramentos de rochas.

Os *Neossolos Litólicos eutróficos*, que além da referida associação também ocorrem isoladamente, são solos de formação recente, cujo horizonte A ou O ocorre assentado sobre a rocha parcialmente alterada (horizonte C) ou inalterada (camada R), apresentam alta saturação por bases ($\geq 50\%$). São solos de pouca espessura, ocorrem em relevos de forte ondulado, geralmente com afloramentos rochosos e pedregosos.

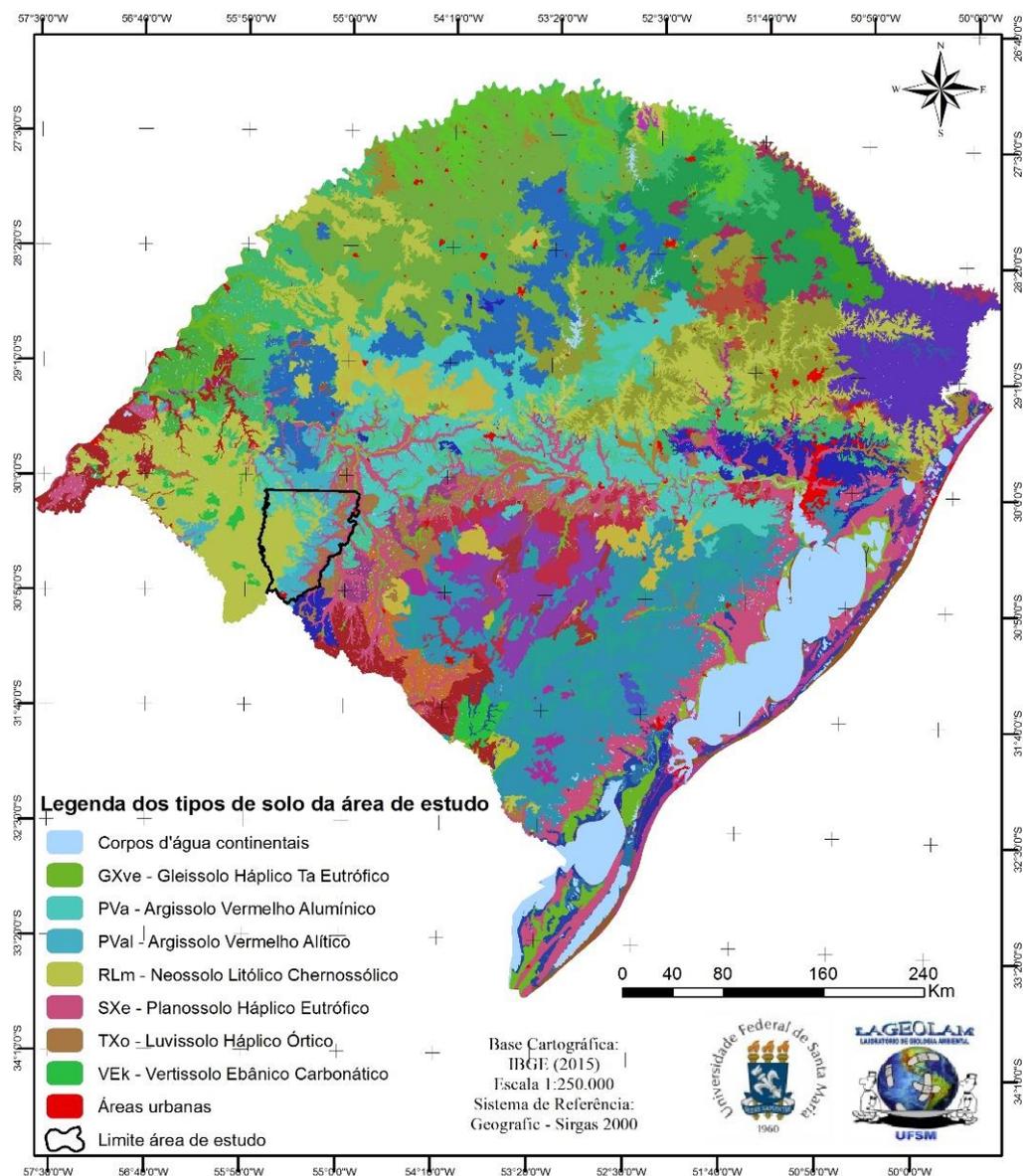
Vertissolos Ebânicos órticos caracterizam-se por serem imperfeitamente ou mal drenados, de cores escuras. Esses solos modificam suas características físicas devido à expansão dos argilominerais quando úmidos e contração quando secos, produzindo fendas.

Também ocorre, com menor representatividade, o *Planossolo Hidromórfico eutrófico* (SGe1) em áreas planas a suavemente onduladas e em áreas de várzea, são solos imperfeitamente ou mal drenados, caracterizando-se pelo horizonte A

geralmente de cor escura e o horizonte E de cor clara, com textura arenosa e passagem abrupta para o horizonte Bt, mais argiloso e adensado.

O Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015) apresenta os principais solos do Brasil, com nomenclatura baseada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) de 2013. (Figura 14).

Figura 14 - Mapa de solos do Rio Grande do Sul.



Fonte: Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015).

2.6.4 Clima Atual

O clima do sul do Brasil, segundo Nimer (1989) apresenta importante oscilação térmica ao longo do ano, dado o seu caráter temperado, geralmente com verões quentes e invernos frios, por apresentar frequentes passagens de descontinuidades de origem circumpolar em qualquer época do ano, o que determina mudanças bruscas no tempo. De acordo com o autor, o clima do Rio Grande do Sul é classificado pelo *Domínio Climático Mesotérmico Brando, Subdomínio Superúmido, Variedade semi seca e tipo Temperado*. O clima mesotérmico brando é caracterizado pelo inverno sensível, com temperatura média inferior a 15°C ou 13°C no mês mais frio. O subdomínio superúmido refere-se à inexistência, normalmente, de sequer um mês seco.

Para o autor, o sul do Brasil é uma região privilegiada pela altura e regime anual de precipitação pluviométrica. A altura média da precipitação anual, de acordo com Nimer (1989) na região da área de estudo é de cerca de 1500mm.

A temperatura média anual fica em torno dos 18°C, sendo que no verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro) a média das máximas diárias variam em torno de 30°C a 32°C e a temperatura máxima absoluta, no período relativo às normais até 1942, de 40°C a 42°C. Já a média de julho, o mês mais frio, é de cerca de 13°C, sendo a média das mínimas diárias no inverno (meses de junho, julho e agosto) em torno de 8°C e a mínima absoluta, referente ao período de 1921 a 1961, de - 4°C.

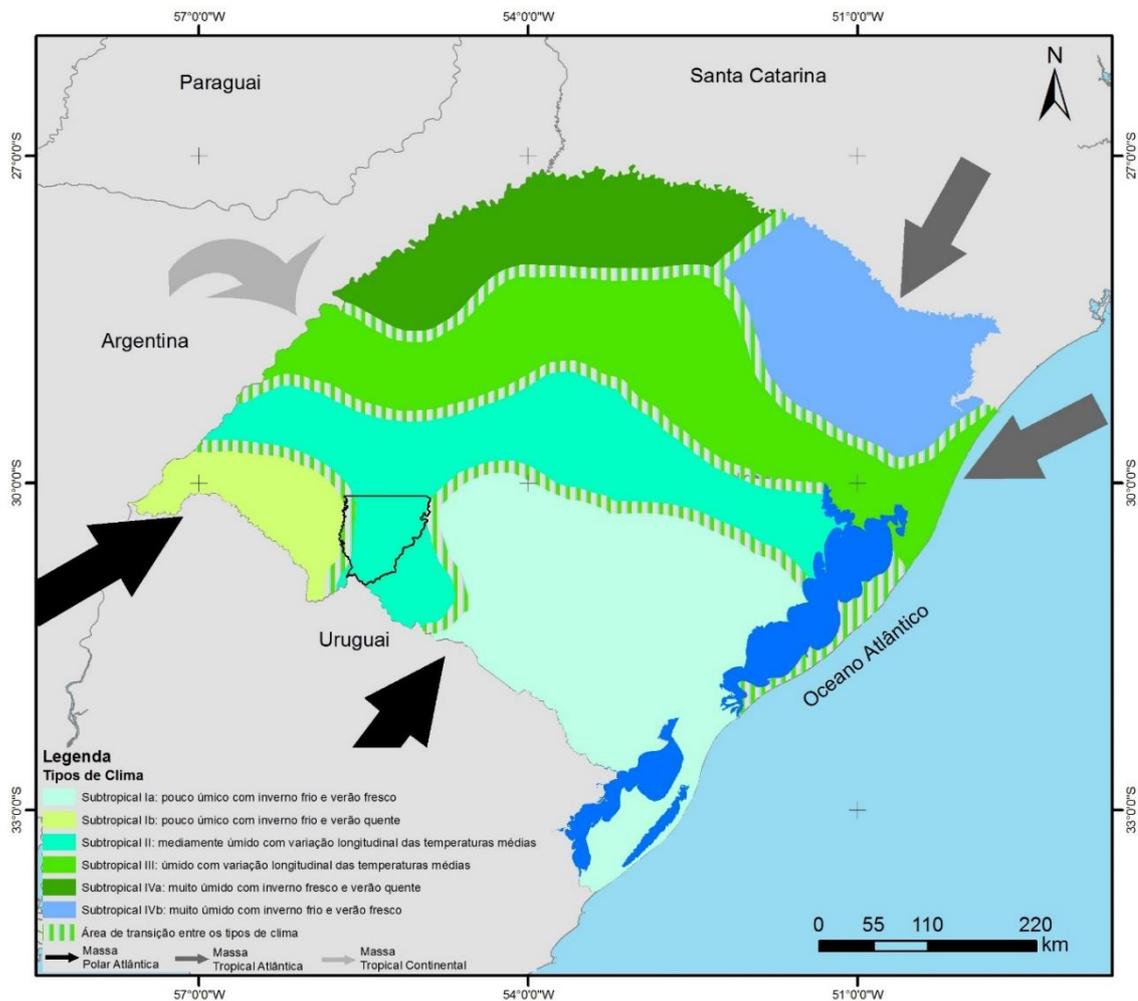
As fortes quedas de temperatura ocorrentes durante a noite provocam o acontecimento de geadas, muito comuns durante o inverno que, segundo o Nimer (1989), são registradas em média de 20 a 30 vezes ao ano na região da Campanha Gaúcha.

Em trabalho mais recente, Rossato (2011) identifica quatro tipos climáticos para o Rio Grande do Sul: *Subtropical I - Pouco Úmido*, subdividido em *Subtropical I a - pouco úmido com inverno frio e verão fresco* e *Subtropical I b - pouco úmido com inverno frio e verão quente*, *Subtropical II - Medianamente Úmido*, *Subtropical III - Úmido* e *Subtropical IV - Muito Úmido*, subdividido em *Subtropical IV a - muito úmido com inverno fresco e verão quente* e *Subtropical IV b - muito úmido com inverno frio e verão fresco*.

A área de estudo localiza-se em área de transição entre os climas *Subtropical I b - pouco úmido com inverno frio e verão quente* e *Subtropical II - medianamente*

úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, principalmente nesse último (Figura 15). Em ambos os tipos climáticos, segundo a autora, há maior influência dos sistemas polares e tropicais continentais em associação com o efeito da continentalidade e do relevo (Cuesta do Haedo), sendo a maior parte das precipitações causadas pelos sistemas frontais.

Figura 15 - Mapa da tipologia climática do Rio Grande do Sul com o limite da área de estudo.



Fonte: Adaptado de Rossato (2011).

Ao se fazer uma aproximação entre os dois tipos climáticos percebe-se características em comum ou com poucas variações, dessa forma optou-se por apresentá-las em conjunto, mesmo que de forma generalizada. Para Rossato (2011),

as chuvas nesses tipos climáticos oscilam entre 1400 a 1700 mm anuais, distribuídas em 70-90 dias no primeiro e 90-110 dias no segundo, concentrando-se em 6 a 9 dias ao mês em ambos os tipos climáticos. A variação da temperatura média anual é de 17°C a 23°C, sendo a média do mês mais frio entre 11°C e 14°C e a do mês mais quente oscila entre 23°C a 29°C.

É importante destacar também que o Rio Grande do Sul sofre influência, segundo Berlato e Fontana (2003), do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) que faz parte de uma variação irregular em torno das condições normais do oceano e da atmosfera na região do Pacífico tropical, cujas fases extremas são chamadas pelos autores de *El Niño* e *La Niña*. Segundo os autores, em anos de *El Niño* ocorre precipitação pluvial acima da média em quase todos os meses do ano, principalmente na primavera e início do verão (outubro e novembro) e também no final do outono e início do inverno próximo (maio e junho). Quanto às temperaturas há tendência de que as médias mínimas sejam superiores às dos anos neutros no outono e início do inverno.

Durante *La Niña* é observada precipitação abaixo da média na maioria dos meses no ano, cujos períodos de maiores anomalias negativas são a primavera, outubro e novembro especialmente, e outono e início do inverno do ano seguinte. A temperatura média mínima em *La Niña* apresenta anomalia negativa (mais frio) na maioria dos meses do ano, com destaque para outubro e novembro, onde chegam em torno de 1,5°C.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo serão apresentados os procedimentos adotados para realização do trabalho, incluindo as etapas e técnicas empregadas em cada uma delas.

Esse trabalho apresenta uma abordagem sistêmica, devido ao seu caráter interdisciplinar, por envolver conceitos de diversas ciências para estudo e compreensão dos fatores envolvidos.

Para melhor compreensão e sistematização dos procedimentos adotados no desenvolvimento desse trabalho optou-se por organizar os procedimentos metodológicos em três etapas: análise do meio físico, análise da vegetação e estudo correlativo.

3.1 ANÁLISE DO MEIO FÍSICO

Para localização geográfica, delimitação da área e obtenção de informações sobre os aspectos físicos da Serra do Caverá foram utilizadas como base cartográfica as Cartas Topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG/IBGE, 1977) do Exército Brasileiro em escala 1:50.000, a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio Grande do Sul em escala 1:50.000 (Hasenack e Weber, 2010) e as imagens SRTM, disponibilizado pelo USGS, com resolução espacial de 3 *arc-second* (90 metros) e imagens do Satélite LANDSAT 8 OLI. Estes dados, possibilitaram, a partir do uso do SIG ArcGis versão 10.3, ferramenta *ArcMap* (ESRI 2013), a elaboração do mapa base da área de estudo e do MDE. O armazenamento, processamento e gerenciamento dos dados levantados durante a execução dos trabalhos foi realizado com auxílio do *software* ArcGis versão 10.3.

O Modelo Digital de Elevação utilizado para a geração e análise dos atributos do relevo foram as imagens SRTM, visto que o mesmo apresenta correções quanto a consistência dos dados e apresenta melhor representação topográfica da área de estudo.

A análise das características do relevo foi realizada considerando os atributos hipsometria, declividade e orientação de vertentes. O mapa hipsométrico foi criado conforme conhecimento da área e identificação de campo representando quebras naturais do relevo, compostas de altitudes contínuas, onde foram definidas as classes

com altitudes inferiores a 120 metros, entre 120 e 180 metros, entre 180 e 240 metros, entre 240 e 300 metros e acima de 300 metros.

O mapa de declividade foi elaborado utilizando as classes de declividade estabelecidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981): <2%, 2-5%; 5-15%; >15%: O limite de 2% representa áreas muito planas e, quando próximas às drenagens, sujeitas à ocorrência de inundações; 5% representa áreas de baixa declividade onde se registram processos deposicionais e a partir desta inclinação processos erosivos passam a ser significativos; 15% representa a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura e áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massa.

A orientação de vertentes, que corresponde à disposição do terreno em relação ao sol, foi classificada nas oito direções: Norte, Nordeste, Noroeste, Oeste, Sudeste, Sudoeste, Leste e Sul. Tal variável relaciona-se ao nível de sombreamento ou iluminação do terreno selecionando *habitats* mais favoráveis para o estabelecimento de determinadas tipologias de vegetação em detrimento de outras (BISPO, 2007).

A definição das unidades morfológicas da área de estudo utilizou as bases metodológicas de Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul, Trentin e Robaina (2005), propostas e desenvolvidas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM/UFSM), procedimentos estes que visam à análise e a diferenciação das formas do relevo.

A análise morfológica proposta nessa tese possui três níveis de análise, em um primeiro momento utilizando-se de uma escala geral, foram definidas as unidades de relevo, que visa definir as unidades gerais do relevo da área de estudo. Em um segundo momento, são definidos os elementos de relevo, em uma escala de maior detalhe, onde se propõe apresentar os principais elementos de relevo presentes na área de estudo através do método de definição dos geomorphons. Em um terceiro momento e trabalhando com o nível da vertente, foram definidas as unidades de vertentes da área de estudo através da compartimentação geomorfométrica.

O mapa das unidades de relevo foi criado com a sobreposição de *layers* no ArcGis, levando em consideração informações de declividade, amplitude altimétrica além de conhecimento da área, de acordo com as seguintes formas do relevo: áreas planas, colinas suavemente onduladas, colinas onduladas e associações de morros e morrotes, classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na determinação das formas de relevo da área de estudo.

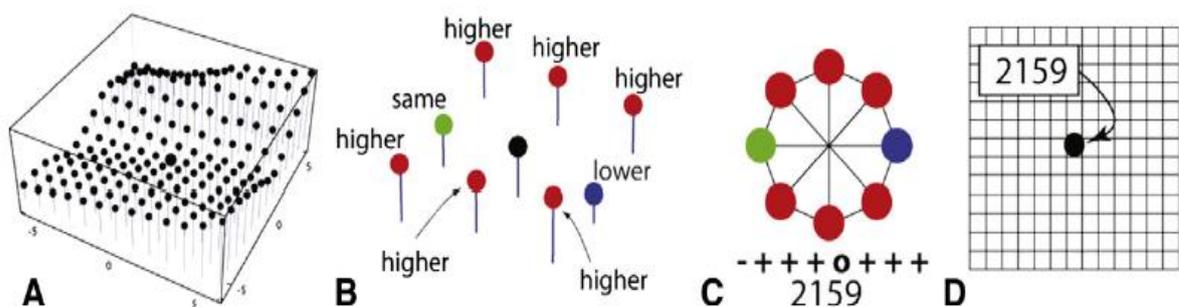
Forma do relevo	Declividade predominante	Amplitude altimétrica
Áreas planas	<2%	<100m
Colinas suavemente onduladas	2-5%	<100m
Colinas onduladas	5-15%	<100m
Associação de morros e morrotes	>15%	>100m

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Também foi realizada a compartimentação do relevo através do uso de *Geomorphons*, embasada no trabalho de Robaina et al (2016) que segue a proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), cujos elementos são classificados de forma automatizada, a partir do MDE, em aplicativo disponível *online*, no endereço eletrônico <http://sil.uc.edu/geom/app>. A compartimentação gera dez classes de *geomorphons* que após serem processados em ambiente online, foram trabalhados e analisados em ambiente SIG, no Arcgis 10.3.

Os *geomorphons* são elementos das formas de relevo, definidos a partir da similaridade textural do MDE de determinada área, utilizando a variação dos níveis de cinza entre a célula central e as células vizinhas, de modo que, se a célula central for maior, a vizinha assume valor de “1”, se for igual, assume valor “0” e se for menor, assume valor de “-1”, conforme representação na Figura 16.

Figura 16 - Representação dos elementos de *Geomorphons*.



Fonte: Jasiewicz e Stepinski (2013).

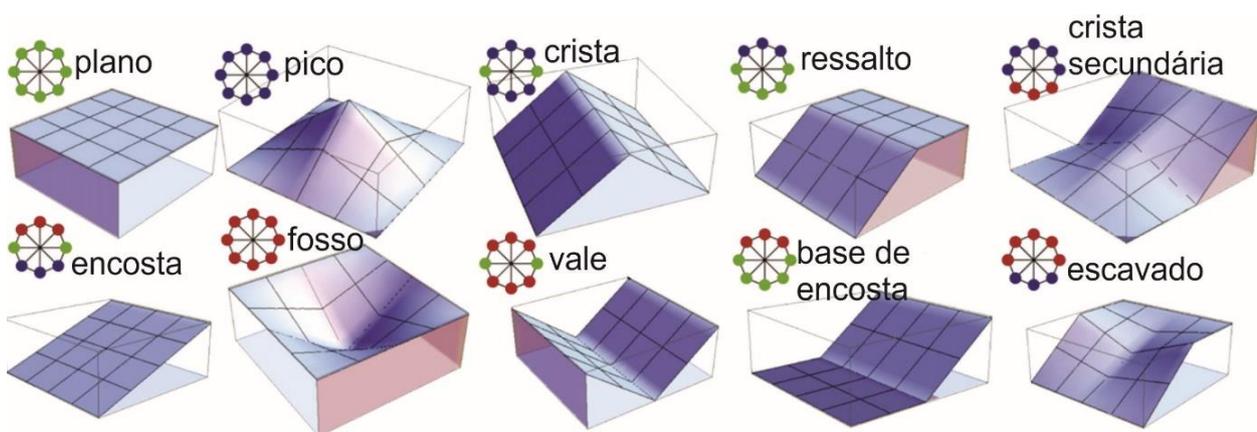
A figura demonstra a aplicação da proposta de Jasiewicz e Stepinski para representação dos elementos do relevo. Descrevendo-se de forma simplificada, em A tem-se a representação do MDE em torno da célula central, em B as oito células vizinhas imediatas da célula central, representadas com cores diferentes para indicar se seus valores de elevação são maiores (vermelho), menores (azul) ou com o mesmo valor (verde) de elevação da célula central e em C a representação de três maneiras diferentes de mostrar o padrão estudado.

Para caracterizar a superfície do relevo não basta a diferença de altura, mas a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação a célula central (ângulos Zenith e Nadir). Para esse cálculo, perfis são traçados para as principais direções a partir da célula central “*lookup distance*” “L” extraídos do MDE.

A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é um MDE. Os dois parâmetros livres são *lookup* “L” (distância em metros ou unidades de célula) e *threshold* t (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres aplicou-se valor de “L” igual a 10 pixels (900 metros) e graus “t” igual a 2°.

Os dez principais elementos de *geomorphons* identificados, de acordo com os autores, são apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Principais *Geomorphons* reconhecidos na análise do relevo.



Fonte: Modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

As unidades de vertentes foram definidas a partir da compartimentação geomorfométrica da Serra do Caverá, de acordo com a proposta de mapeamento

geomorfométrico automatizado apresentado por Silveira e Silveira (2013), a partir dos preceitos de Iwahashi e Pike (2007). Tal classificação é realizada por meio do cruzamento de informações e atributos topográficos gerados por meio de um SIG e hierarquizados, através de uma árvore de decisão, baseada em valores pré-definidos com base em conhecimento da área, utilizando quatro atributos topográficos: altimetria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura.

Para a compartimentação geomorfométrica, optou-se pela classificação das curvaturas das vertentes em duas classes: quanto ao perfil em côncavas e convexas e quanto ao plano em convergentes e divergentes, conforme Tabela 2.

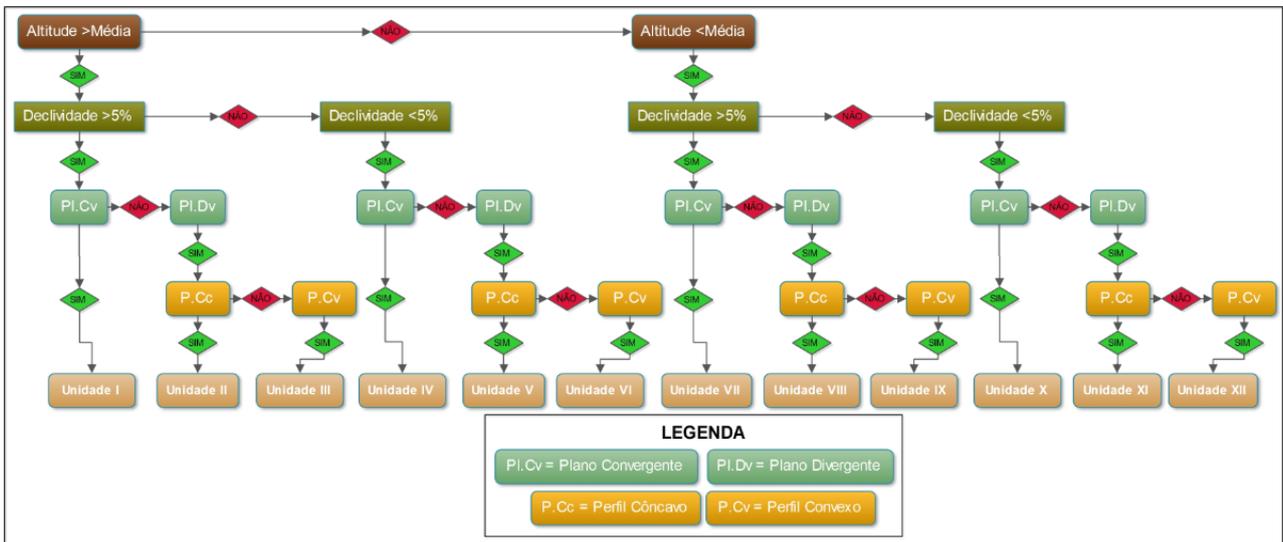
Tabela 2 - Classificação das informações básicas para a determinação das unidades geomorfométricas.

Altitude	Declividade	Plano	Perfil
1 - <Média	1 - <5%	1 - Convergente	1 - Convexo
2 - >Média	2 - >5%	2 - Divergente	2 - Côncavo

Fonte: Guadagnin e Trentin (2014).

Através do cruzamento das informações utilizando-se a árvore de decisão apresentada no fluxograma da Figura 18, foram identificadas 12 unidades geomorfométricas que representam a distribuição espacial das características.

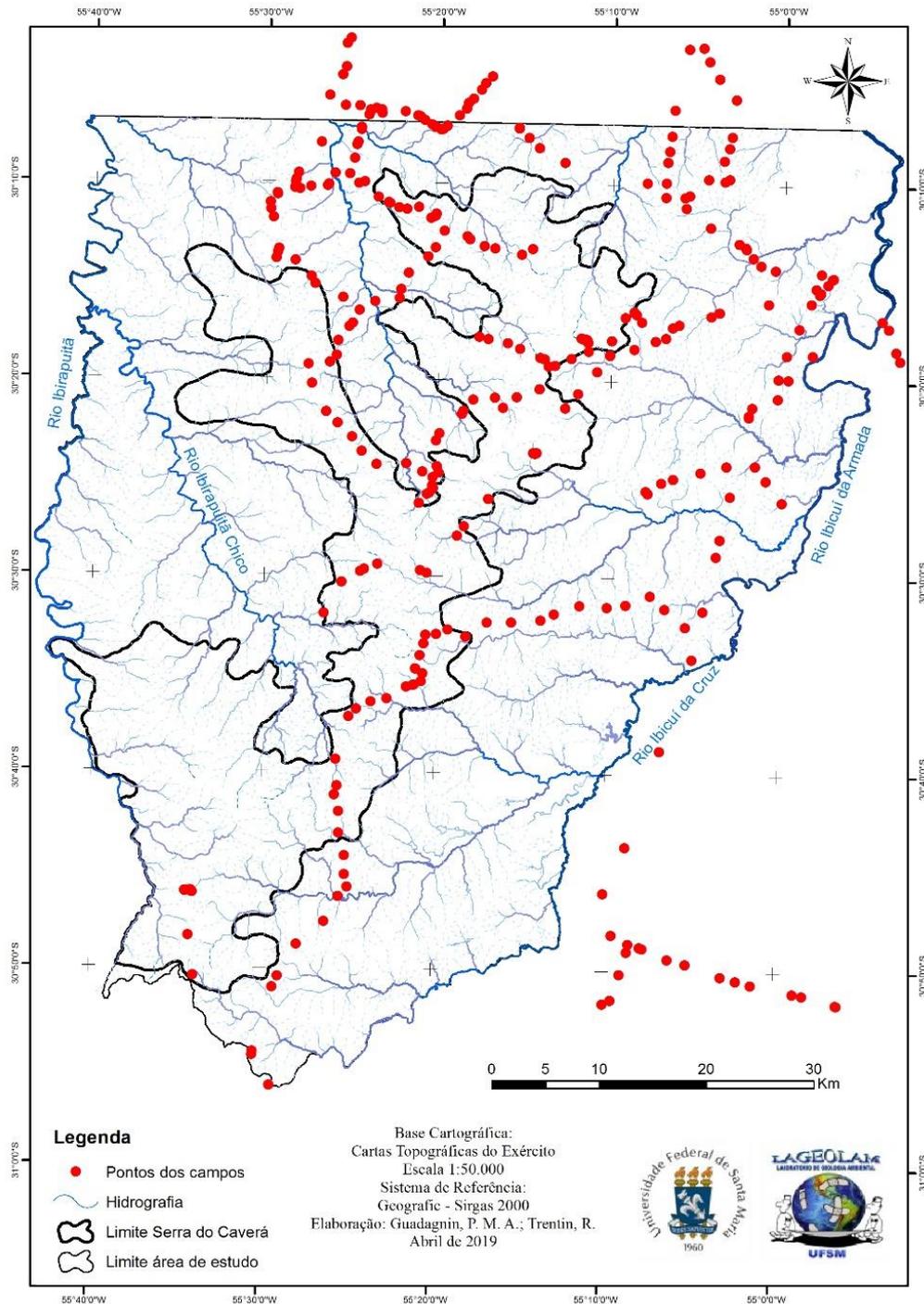
Figura 18 - Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas.



Fonte: Guadagnin e Trentin (2014).

Devido às escalas generalistas dos mapas base, os atributos foram identificados também *in loco*, através dos trabalhos de campo (Figura 19), onde foram realizados perfis ao longo da Serra do Caverá, de forma a obter informações detalhadas sobre os fatores analisados.

Figura 19 - Pontos coletados durante os trabalhos de campo.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Desta forma, os trabalhos de campo constituem-se em uma das etapas mais importantes do levantamento de dados, pois os mesmos, além de serem fundamentais

para o reconhecimento, servem de base para todos os levantamentos da área de estudo.

3.2 ANÁLISE DA VEGETAÇÃO

Para a caracterização e mapeamento da vegetação florestal na Serra do Caverá foi utilizada como base a metodologia usada por Alves et al (2010), a qual consiste, em um primeiro momento na elaboração de um mapa base das condições do meio físico e posteriormente na análise fisionômica, florística e fitoecológica da vegetação natural que ainda preserva traços originais. Por fim, elaborou-se o mapa de cobertura vegetal.

Utilizando o *software* ArcGis 10.3, ferramenta *ArcMap*, foi realizada, a partir da interpretação de imagens de satélite, a análise e diferenciação das fisionomias de vegetação natural na Serra do Caverá, bem como das áreas com intensa intervenção antrópica que não permitem o estudo da vegetação. Em campo essas áreas (fisionômicas e antrópicas) previamente definidas foram confirmadas e/ou melhor definidas e georreferenciadas no mapa base a partir do uso do aparelho receptor GPS (Garmin 62s), nessa etapa definem-se as distintas fitofisionomias e as diferentes áreas descaracterizadas pela ação do homem.

Para amostragem florística da tipologia de vegetação florestal, já definida, foram realizados trabalhos de campo. Para este estudo aplicou-se o método de caminhada, proposto por Filgueiras et al (1994), o qual consiste em três etapas distintas: inicialmente é feito o reconhecimento dos tipos de vegetação (fitofisionomias) presentes na área a ser amostrada, em um segundo momento procede-se à elaboração da lista das espécies encontradas para posterior análise dos resultados. Segundo os autores, na primeira etapa, são definidas as fisionomias encontradas e suas respectivas áreas aproximadas, para tal, utilizam-se dados disponíveis, como mapas de vegetação, imagens de satélite, fotografias aéreas, etc.

Após a caracterização e georreferenciamento da vegetação florestal existente na Serra do Caverá, foi elaborado o mapa da cobertura vegetal da área de estudo, com o uso do SIG ArcGis 10.3 e também imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, que associadas às imagens de alta resolução espacial obtidas através do *Google Earth*, auxiliaram na obtenção de informações sobre a cobertura vegetal da área de estudo.

3.3 ESTUDO CORRELATIVO

A correlação entre a tipologia de vegetação florestal e as características do meio físico na área de estudo foi estabelecida através dos cruzamentos entre as variáveis em ambiente SIG (ArcGIS 10.3), onde foram interpostos os temas a fim de serem extraídas as informações de cada aspecto sobre a vegetação florestal de modo a reconhecer as relações fitoecológicas, buscando identificar uma assinatura digital do padrão de distribuição da vegetação, através das análises dos elementos do meio físico.

Inicialmente, essa correlação foi realizada através de uma análise de relação simples, por meio do cruzamento direto entre as variáveis em questão e a área onde ocorre a vegetação florestal. Isso permitiu definir onde há maiores ocorrências de vegetação florestal na área de estudo.

3.3.1 Cálculo da razão de frequência

Em termos de valores relativos, a correlação entre a vegetação florestal e cada atributo do relevo foi analisada usando um método estatístico bivariado, baseado na razão aritmética entre a área ocupada pela vegetação em cada atributo analisado e a área total da vegetação na área de estudo e também a razão entre a área de cada atributo e a área total do atributo em questão.

Os valores da razão de frequência (F_r) representam o nível de correlação entre a vegetação florestal e cada atributo do relevo a ser analisado. Portanto, para valores de razão de frequência maiores que 1, a correlação é alta, enquanto que valores de F_r menores que 1 indicam uma baixa correlação (ESPER ANGLIERI, 2013). A razão de frequência (F_r) pode ser calculada de acordo com a equação (adaptada de Bonham-Carter, 1994):

$$F_r = \frac{V_i}{V} / \frac{A_i}{A}$$

onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total do atributo, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada atributo analisado e A_i é a área ocupada por cada atributo analisado.

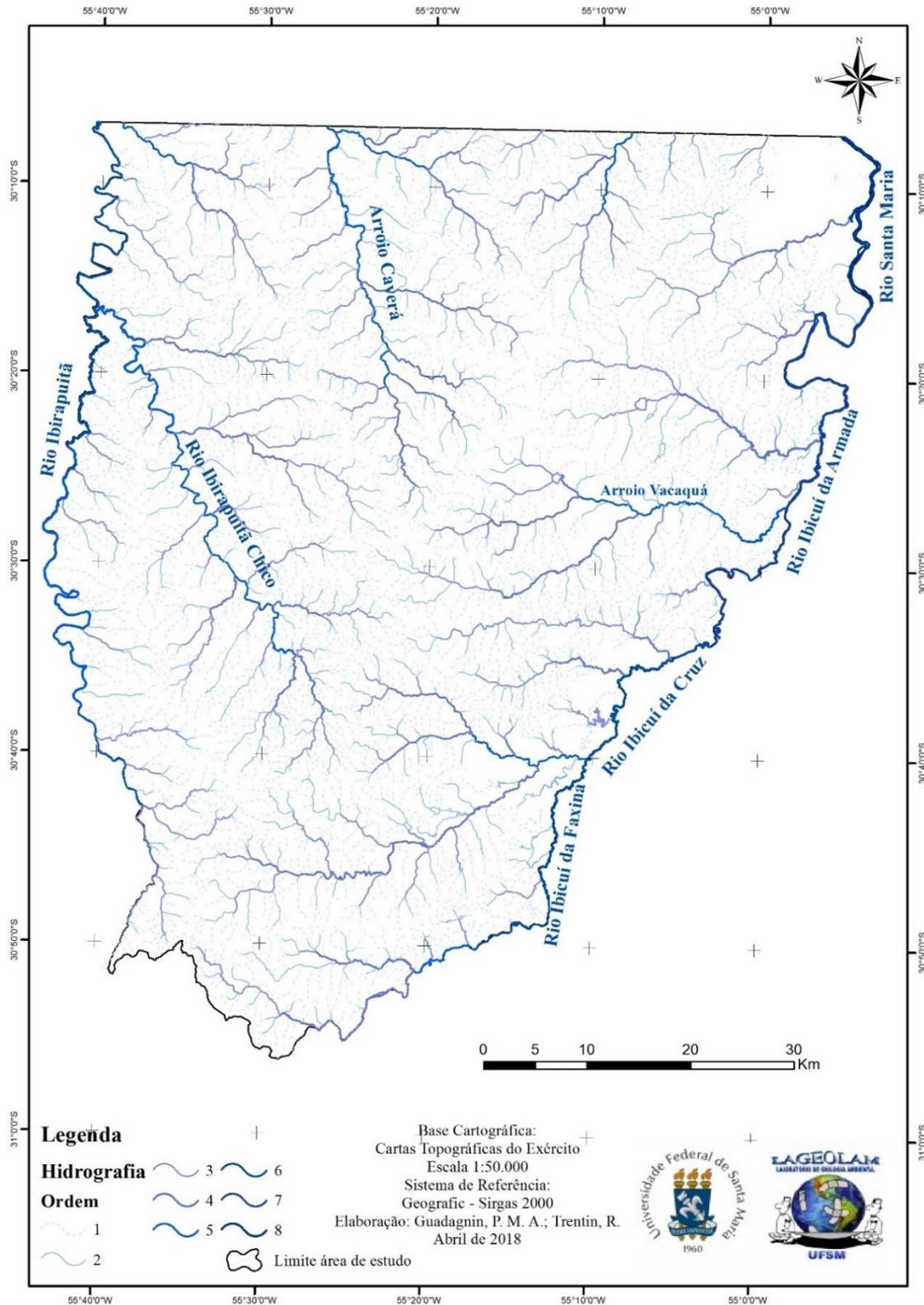
4 RESULTADOS

4.1 MEIO FÍSICO DA SERRA DO CAVERÁ

4.1.1 Rede de Drenagem

A área de estudo abrange uma vasta rede de drenagem que inclui, a oeste, o rio Ibirapuitã e seus principais afluentes de margem direita, o rio Ibirapuitã Chico e arroio Caverá e a leste o rio Santa Maria, o rio Ibicuí da Armada, cujo principal afluente de margem esquerda é o arroio Vacaquá, o rio Ibicuí da Cruz e o rio Ibicuí da Faxina (Figura 20). A Serra do Caverá constitui-se no divisor de águas desses corpos hídricos e é onde se encontram grande parte das nascentes dessas bacias.

Figura 20 - Mapa hidrográfico da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1.2 Análise do Relevo

Na análise do relevo da área de estudo foram considerados parâmetros referentes à hipsometria, à declividade da área e à análise das vertentes, através da orientação. Foram definidas as formas do relevo da área de estudo, através do mapeamento morfológico, os elementos do relevo, com base nos *geomorphons*, bem como os componentes do relevo que serviram para definição nas unidades geomorfométricas.

4.1.2.1 Hipsometria

A amplitude altimétrica da área de estudo é de 288 metros, seu ponto cotado de maior altitude se encontra a 371 metros e o de menor a 83 metros de altitude. Desse modo, a área foi classificada de acordo com cinco classes de altitudes, representadas na Figura 21.

A Tabela 3 apresenta os limites utilizados na divisão das classes, bem como suas respectivas áreas e porcentagem de ocorrência.

Tabela 3 - Intervalo das classes hipsométricas e respectivas áreas.

Classes hipsométricas	Área (km²)	Porcentagem
83 - 120m	685,6	13,6%
120 - 180m	2.576	51%
180 - 240m	1.248	24,8%
240 - 300m	434,9	8,6%
300 - 371m	90,5	1,8%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

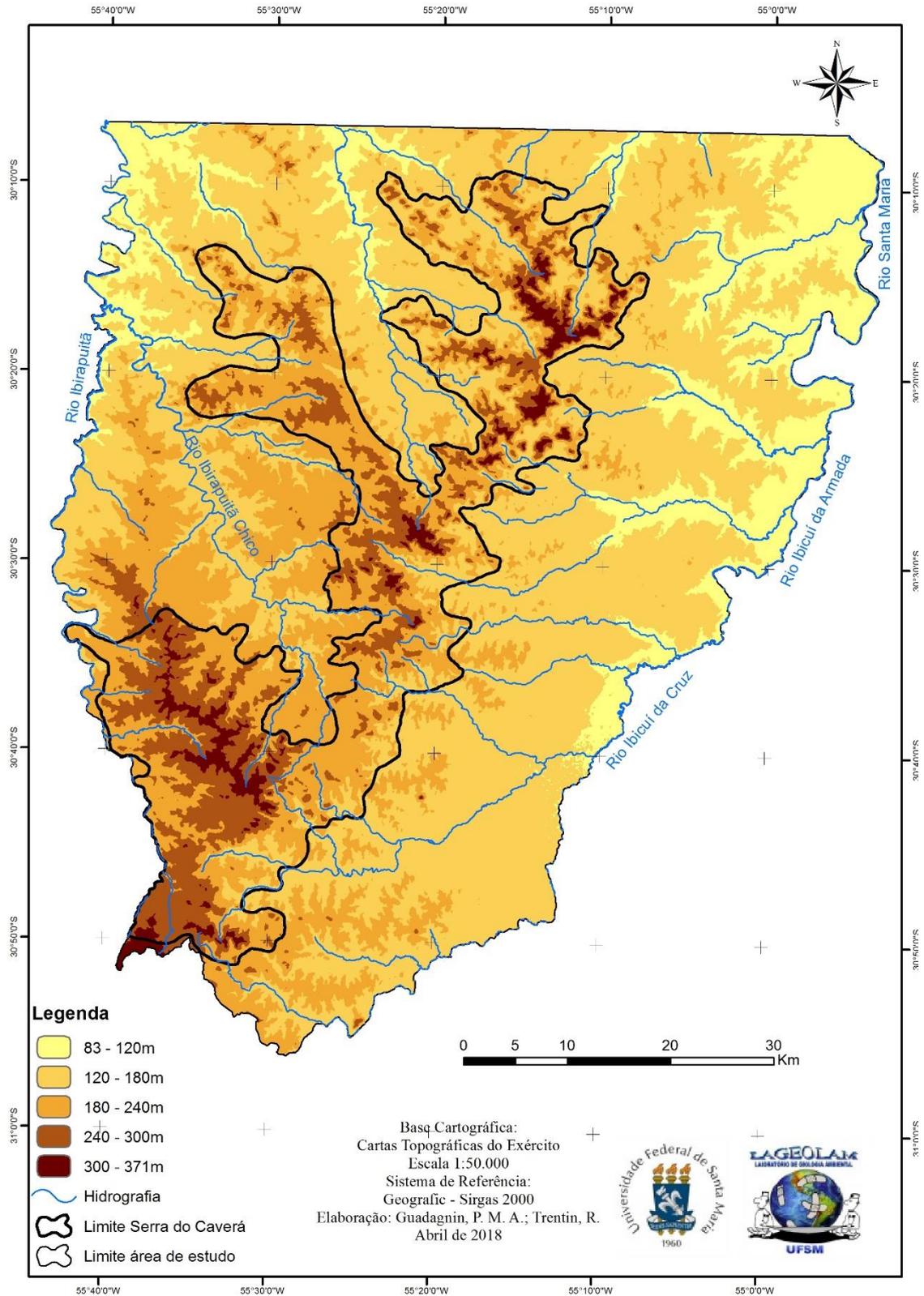
A predominância das altitudes de 120 a 180 metros, em 51% da área de estudo, demonstra que a Serra do Caverá está inserida em uma região onde predomina o relevo de colinas suavemente onduladas e pequenos morrotes, essas altitudes distribuem-se pela área de estudo, com certo predomínio no quadrante leste da área.

As áreas de menor altitude (<120m), que correspondem a 13,6% do total, situam-se próximas as planícies de inundação dos rios e arroios existentes na área de estudo, principalmente do rio Santa Maria na porção nordeste e do rio Ibicuí da Armada no leste da área de estudo e seus afluentes de margem esquerda, também ocorrem na porção noroeste da área, próximo ao rio Ibirapuitã e arroio Caverá.

As áreas com altitude acima de 180 metros, que somadas correspondem a 35,2% do total, consistem nas formações de morrotes e morros que formam a Serra do Caverá. As altitudes de 180 a 240 metros ocorrem com predominância nas porções oeste, sudoeste e sul da área de estudo.

As altitudes mais elevadas, com intervalos de 240 a 300 metros e de 300 a 371 metros, restringem-se predominantemente à área da Serra do Caverá, localizando-se na faixa central da área de estudo, onde estão as nascentes dos principais corpos hídricos que compõem a área.

Figura 21 - Mapa hipsométrico da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1.2.2 Declividade

A declividade é um dos atributos de essencial importância no estudo das vertentes, pois determina a possibilidade de ocorrência de dinâmicas superficiais, como processos de acumulação e de erosão. Assim, foram definidas quatro classes de declividade para a área de estudo, apresentadas na Tabela 4 e na Figura 22.

Tabela 4 - Classes de declividade das vertentes e respectivas áreas.

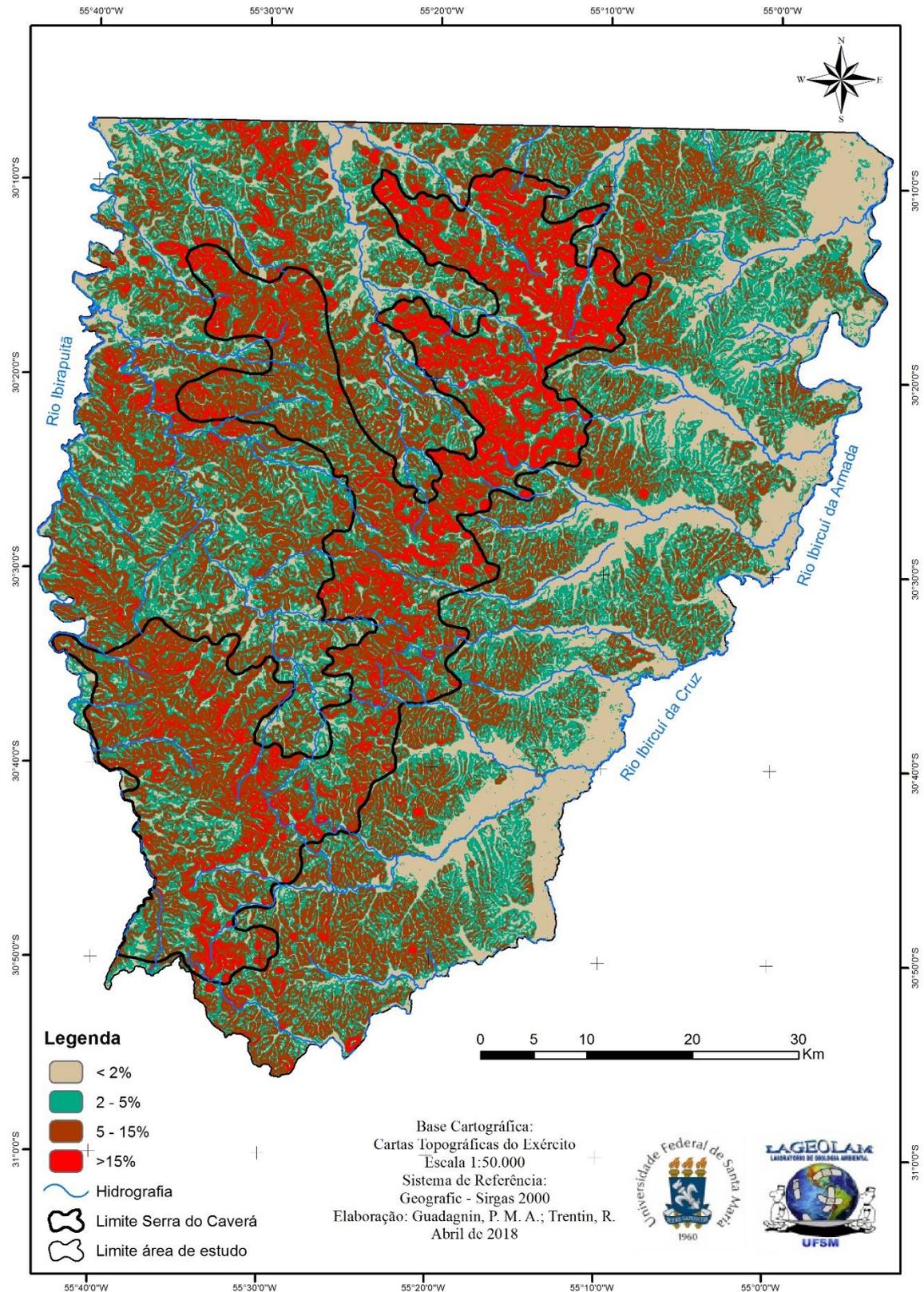
Declividade	Área (km²)	Porcentagem
<2%	1.115,7	22,1%
2-5%	1.643,4	32,6%
5-15%	1.946,8	38,7%
>15%	320,2	6,3%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

As declividades predominantes na área de estudo são as de 5 a 15%, com 38,7% do total, ocorrem em toda a área e de forma mais concentrada na região da Serra do Caverá, onde predominam as áreas com declividade superior a 15% (6,3%), tais declividades, associadas a outros fatores ambientais e de uso do solo, podem contribuir para a ocorrência de processos morfogenéticos de erosão. No entanto, tais locais com altitudes e declividades mais elevadas, tornam-se menos favoráveis ao uso do solo, não só pelos fatores geomorfológicos como também litológicos e pedológicos.

Ocorrem em significativos 32,6% da área, declividades entre 2 e 5%, bem como menores que 2%, em 22,1% do total, tais declividades, menores que 5%, juntas somam 54,7% da área de estudo, essas declividades, associadas a outros fatores ambientais e de uso do solo, podem condicionar a ocorrência de processos de acumulação e são as áreas preferencialmente utilizadas para cultivo agrícola.

Figura 22 - Mapa de declividade da área de estudo.



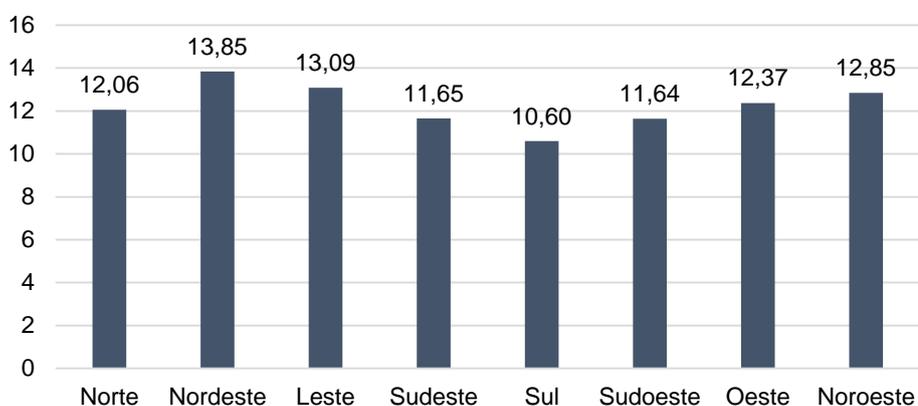
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1.2.3 Orientação de Vertentes

A orientação de vertentes corresponde à disposição do terreno em relação ao sol, sendo a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, comumente expressa em azimute.

A distribuição espacial da orientação das vertentes na área de estudo está representada na Figura 23 e o Gráfico 1 apresenta a porcentagem que cada direção de vertente ocupa na bacia.

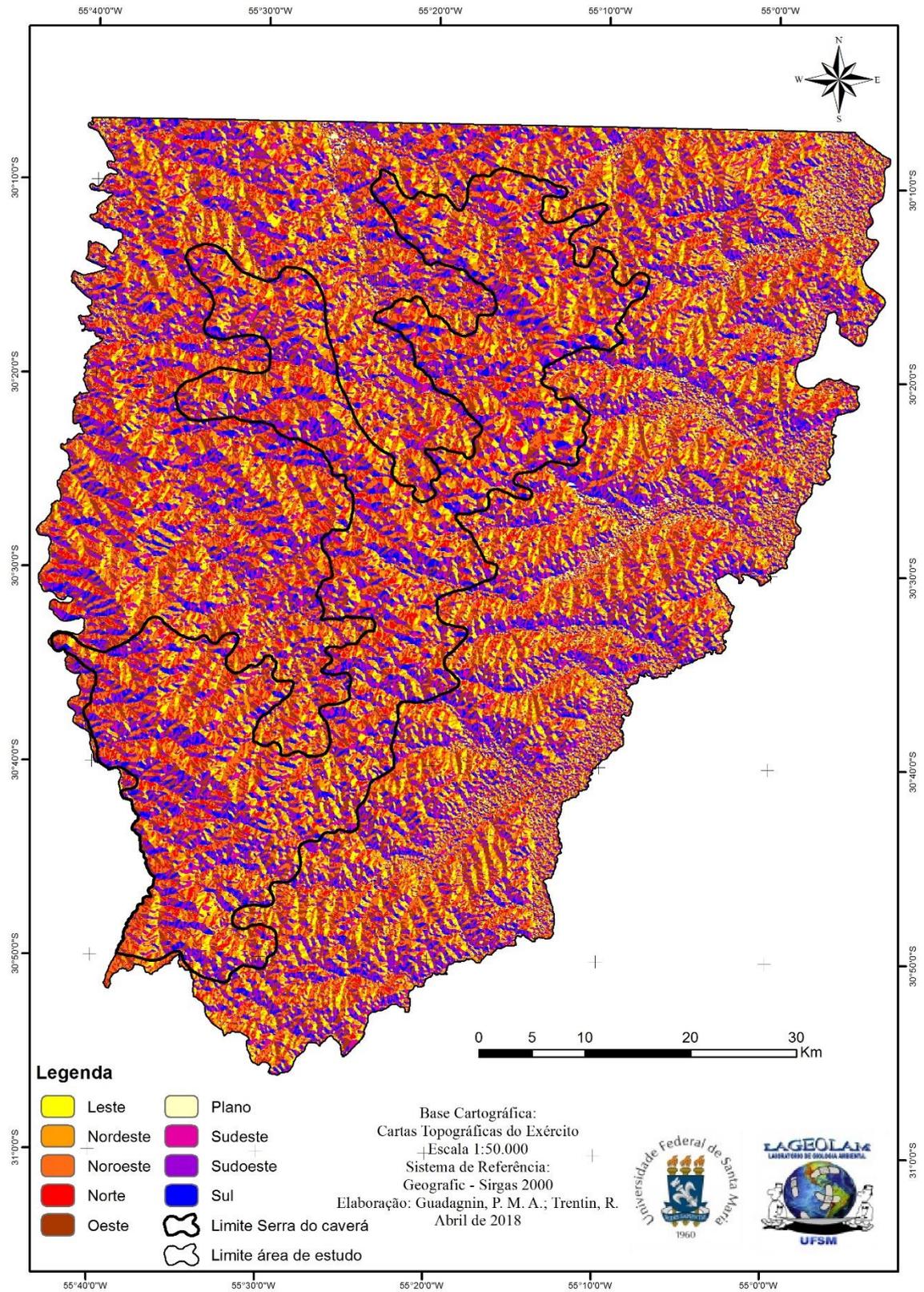
Gráfico 1 - Porcentagem da orientação das vertentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

As orientações das vertentes da área de estudo ocorrem de forma bastante proporcional, com leve predomínio da orientação Nordeste, com 13,85%, seguida das orientações Leste, com 13,09% e Noroeste com 12,85%. A orientação com menor ocorrência é a Sul, com 10,60%.

Figura 23 - Mapa de orientação de vertentes da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1.2.4 Formas de Relevo - Unidades Morfológicas

As formas do relevo na área de estudo foram classificadas utilizando os atributos declividade e amplitude altimétrica, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Características das formas de relevo da área de estudo.

Forma do relevo	Declividade predominante	Amplitude altimétrica	Área (km²)	Porcentagem
Áreas planas	<2%	<100m	571,15	11,36%
Colinas suavemente onduladas	2-5%	<100m	1.920,02	38,20%
Colinas onduladas	5-15%	<100m	2.105,77	41,89%
Associação de morros e morrotes	>15%	>100m	429,34	8,54%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

As áreas planas possuem declividades inferiores a 2% e amplitudes menores que 100 metros, representam 11,36% do total da área de estudo e restringem-se às planícies de acumulação dos principais corpos hídricos da área de estudo, especialmente os do quadrante leste, rios Ibicuí da Faxina, Ibicuí da Cruz, Ibicuí da Armada, Santa Maria e seus principais afluentes, que possuem as maiores planícies de acumulação (Figura 24). Já no quadrante oeste da área de estudo, as áreas planas ficam restritas à planície de acumulação do Arroio Caverá e pequenas porções próximas à foz do rio Ibirapuitã Chico e do rio Ibirapuitã, contudo são áreas diminutas se comparadas às planícies opostas.

Figura 24 - Áreas planas do quadrante leste da área de estudo, na porção nordeste da foto.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

As áreas onde o relevo é de colinas suavemente onduladas apresentam declividades que variam entre 2% até 5% e amplitudes menores que 100 metros, ocupam uma área que corresponde a 38,20% da área total. Estendem-se por grande parte da área de estudo, principalmente associadas às áreas planas do quadrante leste, onde sua ocorrência é predominante, formando amplas áreas de colinas de ondulação suave, embora ocorram também na porção oeste da área de estudo, porém com menor expressão e de forma mais fragmentada (Figura 25).

As áreas de relevo de colinas onduladas possuem declividades que variam de 5 a 15% e amplitudes menores que 100 metros (Figura 26). Correspondem a maior parte da área de estudo, com 41,89% da área total. Ocorrem principalmente na porção centro-oeste da área com proximidade às associações de morros e morrotes, sua distribuição apresenta-se de forma ligeiramente fragmentada, sendo que na porção sudoeste da área de estudo há um leve predomínio das colinas onduladas.

Figura 25 - Colinas de ondulação suave no primeiro plano e ao fundo associação de morros e morrotes.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Figura 26 - Colinas onduladas no primeiro plano e ao fundo associação de morros e morrotes.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Com menor ocorrência, em 8,54% do total da área de estudo, as áreas onde o relevo é constituído pela associação de morros e morrotes, apresentam declividades maiores que 15% e são as únicas com amplitude altimétrica superior a 100 metros (Figura 27).

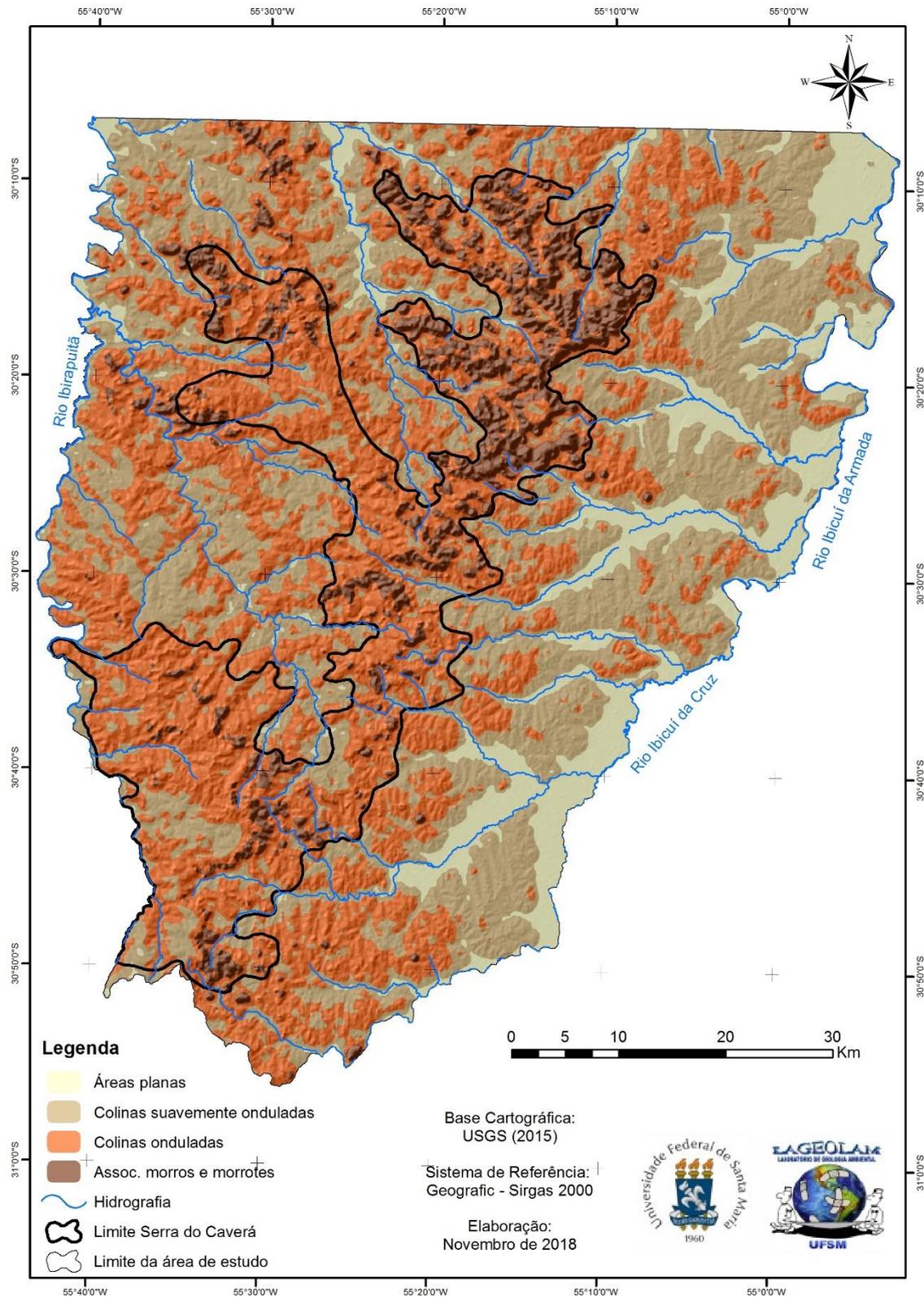
Figura 27 - Associação de morros e morrotes que constituem a Serra do Caverá.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Ocorrem predominantemente formando uma faixa central na área de estudo, constituindo-se nas ondulações da Serra do Caverá, no mapa da Figura 28 pode-se constatar que é expressiva a predominância dessas associações de morros e morrotes dentro dos limites estabelecidos para a Serra do Caverá, ficando de fora dessa área somente uma pequena porção a noroeste da área de estudo e alguns morrotes isolados.

Figura 28 - Mapa das formas de relevo da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1.2.5 Elementos do Relevo com base nos Geomorphons

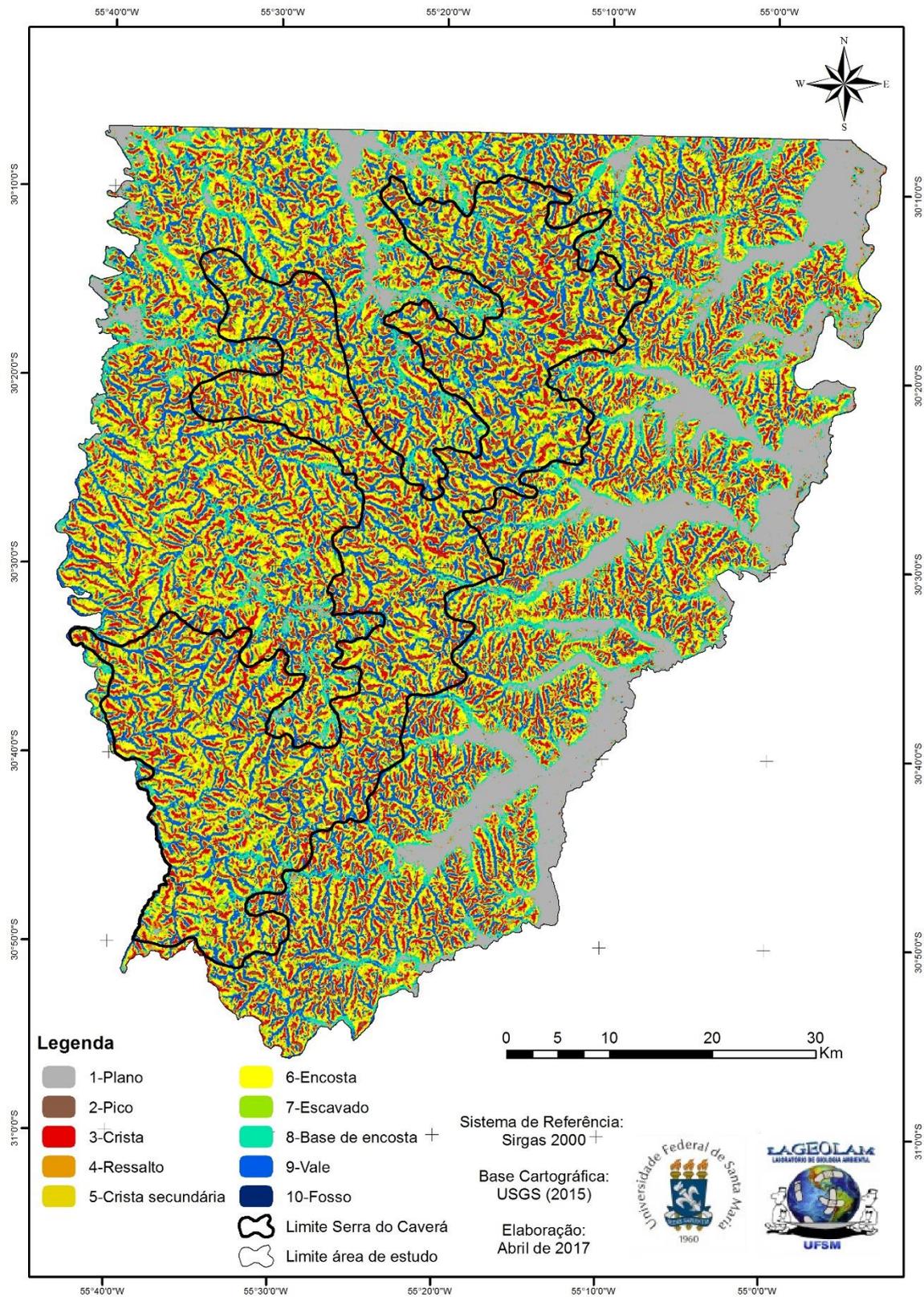
A análise do relevo através dos seus elementos de *geomorphons* é uma ferramenta de grande valia no estudo de suas formas e configurações e permite a compreensão dos fatores atuantes na modelação do terreno, além de ser um método automatizado que possibilita o estudo detalhado em diferentes escalas de trabalho que vem sendo crescentemente utilizado, como exemplos podem ser citados os trabalhos de Robaina et al (2016, 2017) e Silveira et al (2018) que empregam esta abordagem para classificação das formas de relevo.

A identificação dos elementos do relevo da área de estudo, a partir dos *geomorphons*, está representada na figura 29. Esses elementos ocorrem em toda a área de estudo, sendo alguns de forma mais concentrada, como o elemento plano que ocupa as planícies de inundação dos principais cursos de água e os vales que se associam aos canais de drenagem mais encaixados no relevo. Porém, em sua maioria, os elementos ocorrem de forma mais fragmentada, visto que representam porções da vertente e, por vezes, associados a outros elementos, compondo a vertente, como encostas que geralmente ocorrem associados à base da encosta, aos vales ou às cristas.

As áreas planas destacam-se no mapa por ocorrerem de forma concentrada nas porções leste e norte da área de estudo, associadas às planícies de inundação do arroio Caverá e dos rios Ibicuí da Faxina, Ibicuí da Cruz, Ibicuí da Armada e Santa Maria. Os elementos cristas e picos, embora distribuam-se em grande parte da área de estudo, apresentam uma certa concentração no topo dos morros e morrotes da Serra do Caverá.

Pode-se observar no mapa, também, a significativa ocorrência do elemento encosta associadas às vertentes da Serra do Caverá, que por tratar-se de um divisor de águas, possui uma vasta rede de drenagem de canais com hierarquia média a pequena, onde verificam-se os elementos vales, que também possuem uma ocorrência expressiva.

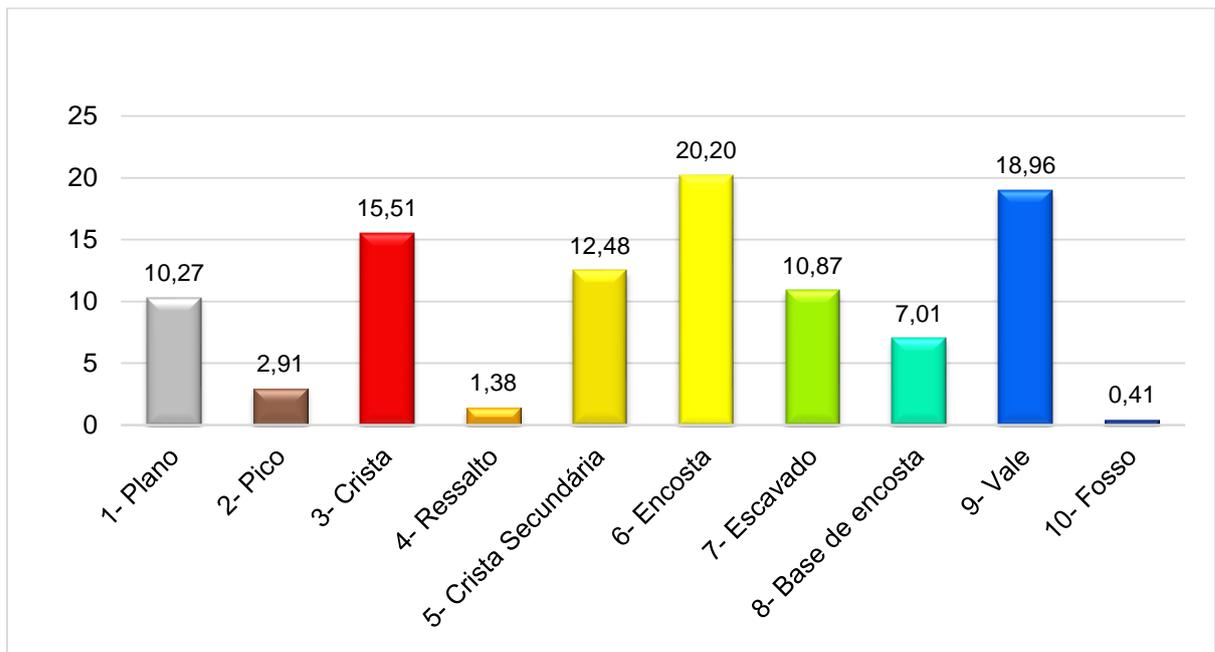
Figura 29 - Mapa da distribuição espacial dos *geomorphons* na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A porcentagem de ocorrência de cada um dos elementos pode ser melhor visualizada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Porcentagem de ocorrência dos elementos de *geomorphons* na área de estudo.

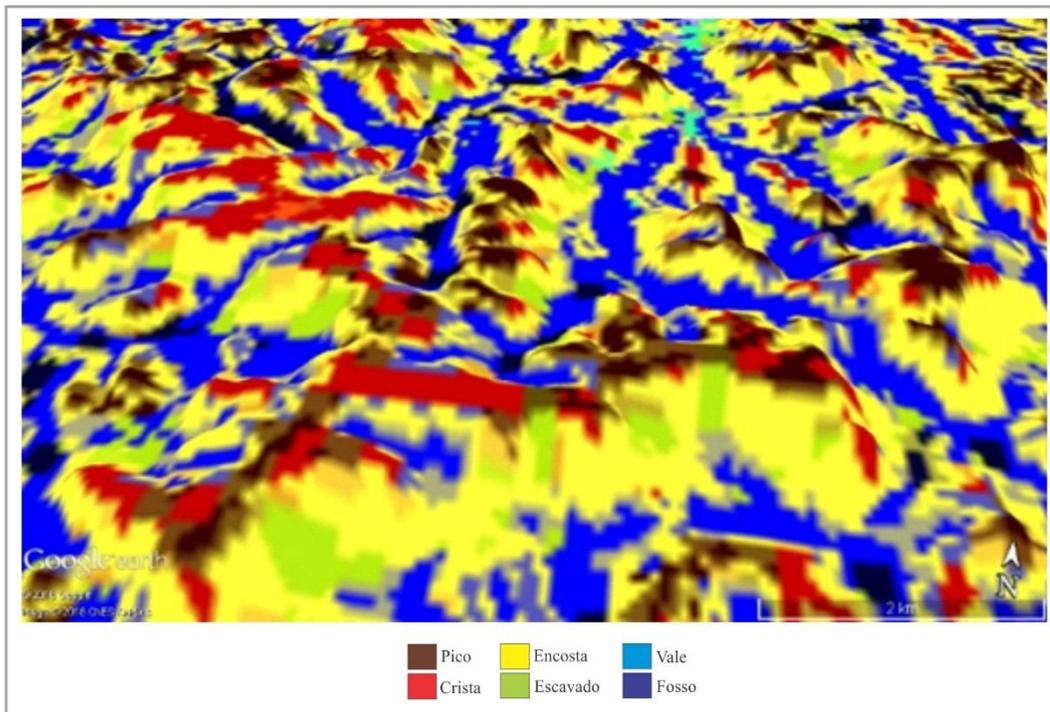


Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se a predominância de áreas de encosta, vales e cristas, que juntas representam mais de 54% da área de estudo, também são significativas as áreas de cristas secundárias, áreas planas e escavados. Os elementos menos representativos são a base de encosta, pico, ressalto e fosso, principalmente os três últimos que, juntos, não atingem 5% da área.

Verifica-se, portanto, que a área de estudo possui relevo de colinas onduladas a fortemente onduladas com encostas amplas e topos estreitos e alongados formando as cristas, por vezes com rebaixamentos laterais na forma de cristas secundárias, bem como grande ocorrência de vales encaixados no relevo. Tais elementos podem ser melhor visualizados na imagem a seguir, com visada de em torno 45° de inclinação (Figura 30).

Figura 30 - Representação do *Google Earth* com visada em torno de 45° de inclinação e sobreposição dos elementos de *Geomorphons*.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nessa imagem, podem ser melhor visualizados os elementos na forma como se distribuem no relevo, destacando-se os elementos vale (azul), encosta (amarelo) e crista (vermelho) além do escavado (verde) e pico (marrom).

4.1.2.6 Componentes do Relevo - Compartimentação Geomorfométrica

O estabelecimento de unidades geomorfométricas do relevo é baseado em seus componentes, considerando a análise dos atributos de altitude, declividade, perfil e plano de curvatura das vertentes.

Ao se trabalhar com as informações altimétricas em uma área, possibilita-se analisar as condições mais propícias a processos de dissecação para as áreas de maior altitude e processos de acumulação ou deposição dos sedimentos relacionados às áreas de maior para as áreas de menor altitude. Permitem-se, ainda, análises das variações de amplitude apresentadas pela área. Nesse trabalho, essas informações foram consideradas em função da distribuição do histograma de frequência, onde foi

considerada a média geral das altimetrias que corresponde a 180 metros. A escolha por esse valor como limite corresponde ainda à sua proximidade com uma situação de quebra natural do relevo, ou seja, a base da Serra do Caverá que apresenta as altitudes próximas a 180 metros.

O atributo declividade é um dos mais utilizados para caracterização do relevo, pois permite uma primeira indicação dos processos morfogenéticos atuantes. As declividades acima de 5% marcam o limite de ocorrência predominante de processos morfogenéticos erosivos. Essa informação permite a primeira divisão entre o predomínio de processos pedogenéticos de acumulação e os processos morfogenéticos.

Hugget (1975) estabelece a combinação de formas de vertentes associando a curvatura vista em perfil e em plano; propõe nove padrões ideais para indicações das direções dos fluxos da água sobre as vertentes, cujas diferenças nos solos e na paisagem são resultantes, em parte, do movimento da água e sua distribuição nas vertentes.

A curvatura no perfil é a taxa de variação da declividade na direção do aspecto enquanto a curvatura no plano é a taxa de variação da declividade na direção ortogonal a do aspecto (MENDIONDO et al, 1998).

O perfil de curvatura é importante para caracterizar mudanças na velocidade do fluxo da água e processos relacionados ao transporte de sedimentos, enquanto que o plano de curvatura demonstra a propensão da água a convergir ou divergir no terreno (GALLANT e WILSON, 2000).

Assim, o perfil de curvatura representa a forma da vertente no sentido descendente e indica a proporção de mudança do potencial do gradiente, influenciando no fluxo da água e na velocidade de processos de transporte de sedimentos.

O plano de curvatura representa a medida da convergência e divergência topográfica e por isso influencia a concentração de água na paisagem (SIRTOLI et al, 2008).

Baseando-se nos parâmetros descritos, foram classificados os tipos de vertentes e se estabeleceu o zoneamento das unidades de relevo. Para a área de estudo foram definidas 12 unidades de relevo, que serão descritas a seguir e apresentadas na Tabela 6.

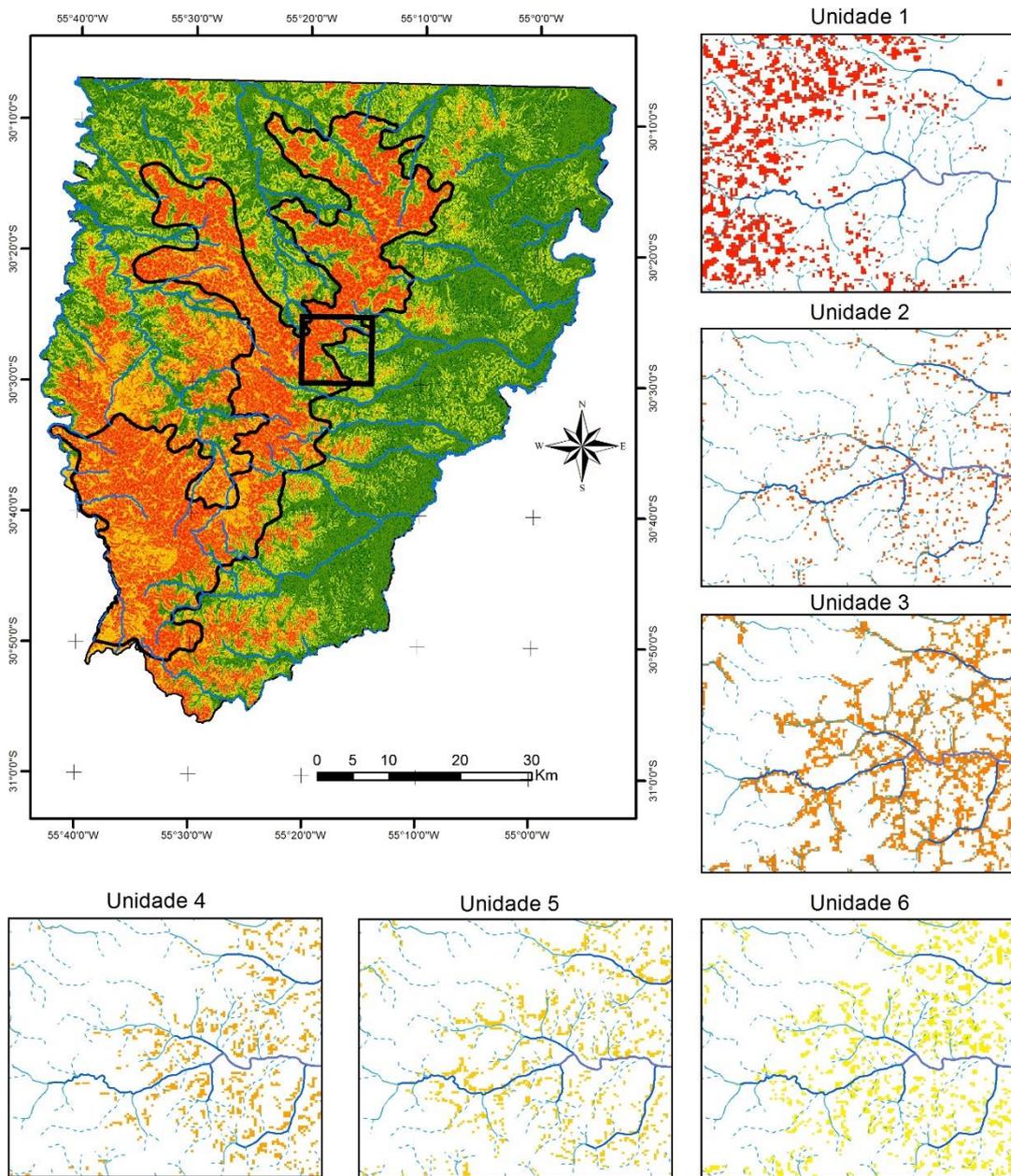
Tabela 6 - Áreas e respectivas porcentagens das unidades geomorfométricas da Serra do Caverá.

Unidade	Área (Km²)	Porcentagem
Unidade 1	511,46	10,17
Unidade 2	272,01	5,41
Unidade 3	420,42	8,36
Unidade 4	285,07	5,67
Unidade 5	77,17	1,53
Unidade 6	207,50	4,13
Unidade 7	464,69	9,24
Unidade 8	292,87	5,83
Unidade 9	305,68	6,08
Unidade 10	1364,04	27,14
Unidade 11	281,55	5,6
Unidade 12	543,86	10,82

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Os mapas com as unidades geomorfométricas da área de estudo são apresentados nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Mapa das unidades geomorfométricas 1 a 6 da área de estudo.



Legenda

- | | | |
|--|--|--|
|  unidade 01 |  unidade 05 |  unidade 09 |
|  unidade 02 |  unidade 06 |  unidade 10 |
|  unidade 03 |  unidade 07 |  unidade 11 |
|  unidade 04 |  unidade 08 |  unidade 12 |
| |  Hidrografia | |
| |  Limite Serra do Caverá | |
| |  Limite área de estudo | |

Base Cartográfica:
 Cartas Topográficas do Exército
 Escala 1:50.000
 Sistema de Referência:
 Geografic - Sirgas 2000
 Elaboração: Guadagnin, P. M. A.; Trentin, R.
 Abril de 2018



As unidades geomorfométricas de 1 a 6 apresentam altitudes maiores que a média de 180 metros, ocorrendo, dessa forma, associadas a região da Serra do Caverá, destas, as unidades 1 a 3 representam as porções de maior declividade dos morros e morrotes que constituem a serra.

A unidade 1 ocupa 511,46 km², representando 10,17% do total da área de estudo, sendo bastante expressiva nos divisores de águas dos principais afluentes que compõem a área de estudo. Podem ocorrer processos morfogenéticos de erosão devido à declividade superior a 5%, localização predominantemente nos topos das vertentes e maior concentração da água devido ao plano de curvatura ser convergente.

A unidade 2 cobre uma área de 272,01 km², correspondendo a 5,41% da área de estudo, assim como a unidade 1, ocupa principalmente o terço superior das vertentes dos principais cursos d'água, em altitudes maiores que a média e, apesar da declividade ser maior que 5%, os processos erosivos podem ser atenuados devido ao perfil côncavo e plano de curvatura divergente, o que faz com que a água seja dissipada com menor velocidade.

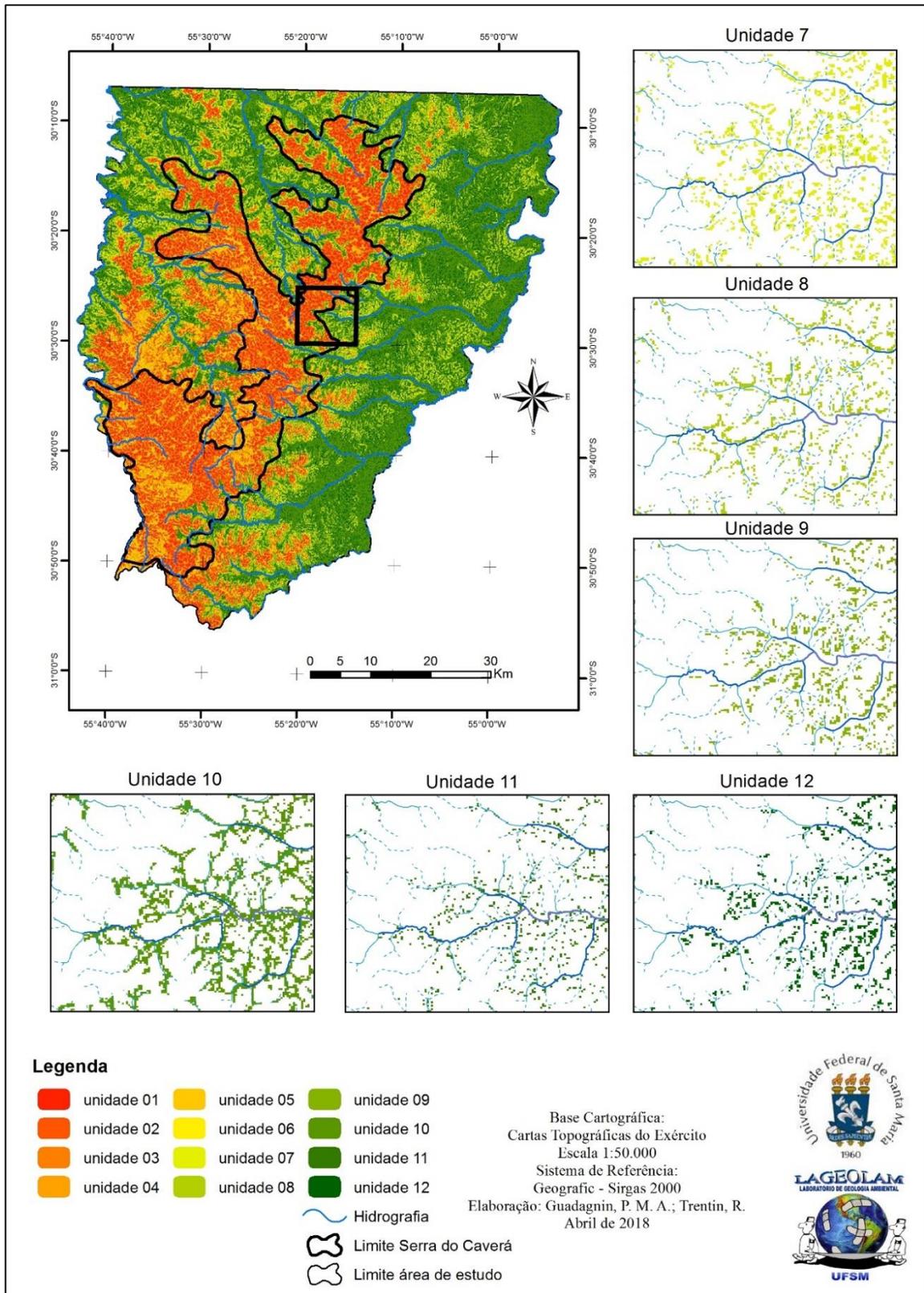
A unidade 3 cobre aproximadamente 420,42 km², sendo 8,36% do total da área de estudo, ocorre principalmente associada aos cursos d'água nas porções mais elevadas da área de estudo. Caracteriza-se pela altitude maior que a média e declividade maior que 5%, o que pode levar à ocorrência de processos erosivos acentuados devido ao aumento da velocidade do fluxo proporcionado pelo perfil convexo e dissipação da água devido ao plano de curvatura divergente.

A unidade 4 ocupa uma área de cerca de 285,07 km², correspondendo a 5,67% da área de estudo, caracteriza-se pela declividade inferior a 5% e plano de curvatura convergente.

A unidade 5 cobre aproximadamente 77,17 km², correspondendo a cerca de 1,53% da área de estudo. Apesar da declividade inferior a 5% e perfil côncavo, provavelmente não ocorram significativos processos de acumulação devido ao plano de curvatura divergente.

A unidade 6, ocupa 207,50 km², correspondendo a 4,13% da área de estudo. Pelas características do perfil e plano de curvatura da unidade, convexo e divergente, respectivamente, pode-se considerar que há aumento da energia do fluxo, porém, pela declividade inferior a 5%, os possíveis processos erosivos são atenuados.

Figura 32 - Mapa com as unidades geomorfométricas 7 a 12 da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

As unidades 7 a 12 possuem altitudes menores que a média de 180 metros, representando as porções mais baixas da área de estudo, sendo as unidades 10 a 12 principalmente relacionadas às áreas de acumulação dos canais de drenagem.

A unidade 7 cobre 464,69 km², representando em torno de 9,24% do total da área de estudo. Caracteriza-se pelo plano de curvatura convergente e declividade superior a 5%, o que pode formar canais de concentração de água e possibilidade de processos morfogenéticos de erosão.

A unidade 8 cobre uma área de 292,87 km², próximo a 5,83% da área de estudo. Caracteriza-se pela diminuição da energia e dissipação do fluxo na vertente por apresentar perfil côncavo e plano divergente, bem como pela possibilidade de ocorrência de processos erosivos devido à declividade superior a 5%.

A unidade 9 cobre aproximadamente 305,68 km², sendo 6,08% do total da área de estudo. Há o predomínio de processos morfogenéticos de erosão pela declividade superior a 5% associada ao aumento da energia e dissipação do fluxo devido ao perfil convexo e plano divergente.

A unidade 10 ocupa expressivos 1.364,04 km², correspondendo a 27,14% da área de estudo. Tem ocorrência bastante associada às áreas mais baixas, próximas aos canais de drenagem dos principais corpos hídricos que compõem a área de estudo, formada por áreas de declividades inferiores a 5%, caracteriza-se pela concentração do fluxo convergindo na base das vertentes dado o plano convergente.

A unidade 11 cobre aproximadamente 281,55 km², correspondendo a aproximadamente 5,60% da área de estudo. Caracterizada pela diminuição da energia do fluxo divergente (perfil côncavo e plano divergente).

A unidade 12 ocupa cerca de 543,86 km², o que corresponde a 10,82% da área de estudo. Caracteriza-se pelo aumento da velocidade do fluxo em direção à base das vertentes devido ao perfil convexo, porém com fluxo divergente (plano divergente).

O predomínio das unidades 10 e 12, que ocupam juntas 37,96% do total da área de estudo, indica uma grande ocorrência de áreas com baixa altitude e relevos planos, principalmente devido à grande quantidade de canais de drenagem das bacias hidrográficas que formam a área de estudo.

Já a unidade 1, que ocupa a terceira maior área, com 10,17% do total da área de estudo, representa as áreas de maior altitude e declividades maiores que 5%, da Serra do Caverá.

4.2 VEGETAÇÃO FLORESTAL DA SERRA DO CAVERÁ

A vegetação natural ocorrente na área de estudo, assim como em toda região oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul, pode ser dividida em duas formações: campestre e florestal. A vegetação campestre é predominante e característica do bioma Pampa, distinguindo-se, fisionomicamente, pela altura do estrato, com relação às formações florestais.

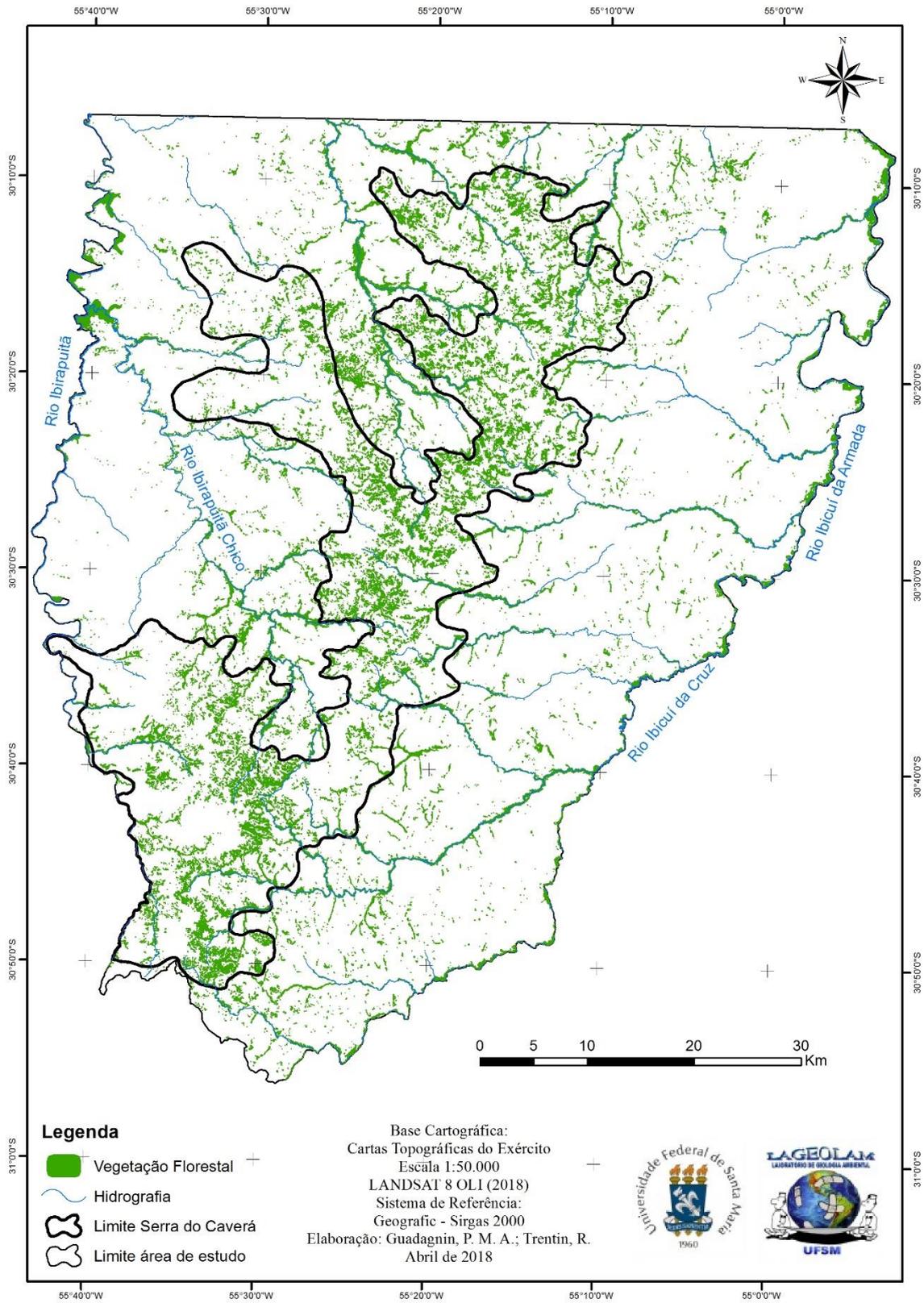
A vegetação florestal, embora ocorra com menor expressão se comparada à campestre, vem se adensando e avançando suas áreas de distribuição, principalmente devido ao aquecimento e umedecimento do clima holocênico (MARCHIORI, 2004). Esta formação vegetal é composta por diferentes tipologias, as matas ciliares, de ocorrência principalmente associada a cursos hídricos e as matas de encosta e capões-de-mato, que ocorrem em colinas, morrotes e morros, não diretamente associados a rede permanente de drenagem, mas a outros fatores, como configuração das vertentes e associações rochosas. Além das áreas de ocorrência, a composição florística é outro fator de distinção entre as tipologias mencionadas, sendo que as matas ciliares possuem maior diversidade de espécies quando comparadas aos capões-de-mato e matas de encosta.

Apesar desses aspectos distinguirem as referidas tipologias de vegetação, sua separação para fins de estudo, principalmente através do uso de imagens orbitais, torna-se dificultada pelo fato de que ambas encontram-se muitas vezes conectadas.

Para este estudo, as tipologias de vegetação florestal foram analisadas em conjunto e sua distribuição na área de estudo é apresentada no mapa da Figura 33.

Pode-se observar, a partir da análise do mapa da vegetação florestal, que esta distribui-se ao longo da área de estudo, principalmente associada às nascentes e seus respectivos cursos d'água. Sua ocorrência é significativa nos divisores de águas dos principais afluentes da área de estudo, representados no mapa. A Tabela 7 apresenta uma caracterização da composição florística da vegetação florestal na área de estudo.

Figura 33 - Mapa da distribuição da vegetação florestal na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Tabela 7 - Listagem das espécies mais características das formações florestais na área de estudo.

(continua)

Família	Nome Científico	Nome Popular	Hábito
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	aroeira-braba	A
	<i>Schinus molle</i> L.	anacaita	A
	<i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera	molho	A
Apocynaceae	<i>Forsteronia glabrescens</i> Müll. Arg.		T
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	coqueiro gerivá	A
Bignoniaceae	<i>Bignonia callistegioides</i> Cham.	cipó-cruz	T
	<i>Dolichandra cynanchooides</i> Cham.		T
	<i>Dolichandra unguis-cati</i> (L.) L.G. Lohmann		T
Bromeliaceae	<i>Tillandsia aëranthos</i> (Loisel.) L.B. Sm.	cravo-do-mato	E
	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.		E
	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	barba-de-velho	E
Cactaceae	<i>Rhipsalis lumbricoides</i> (Lem.) Lem. ex Salm-Dyck		E
Celastraceae	<i>Maytenus ilicifolia</i> Mart. ex Reissek	cancorosa	A
Cannabaceae	<i>Celtis ehrenbergiana</i> (Klotzsch) Liebm.	esporão-de-galo	A
	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	taleira	A
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	branquilha-leiteiro	A
	<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll. Arg.	branquilha	A
	<i>Sebastiania schottiana</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg.	sarandi-vermelho	S
Fabaceae	<i>Calliandra tweedii</i> Benth.	calliandra-vermelha	S
	<i>Camptosema rubicundum</i> Hook. & Arn.	cipó-colorado	T
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	timbaúva	A
	<i>Erythrina crista-galli</i> L.	corticeira-do-banhado	A
	<i>Mimosa amphigena</i> Burkart	mimosa	S
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-vermelho	A
	<i>Senegalia bonariensis</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger	unha-de-gato	T
Lamiaceae	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	tarumã-preto	A
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canela-preta	A
	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	canela-amarela	A
Loganiaceae	<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.	esporão-de-galo	A
Loranthaceae	<i>Tripodanthus acutifolius</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.	erva-de-passarinho	HP
Malpighiaceae	<i>Janusia guaranitica</i> (A. St.-Hil.) A. Juss.		T
Meliaceae	<i>Trichilia elegans</i> A. Juss.	pau-de-ervilha	A

(conclusão)

Moraceae	<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	figueira-mata-pau	A
Myrsinaceae	<i>Myrsine laetevirens</i> (Mez) Arechav.	capororoca	A
	<i>Myrsine lorentziana</i> (Mez) Arechav.	capororoca	A
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	murta	A
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitangueira	A
	<i>Myrcianthes cisplatensis</i> (Cambess.) O. Berg		A
	<i>Myrrhinium atropurpureum</i> Schott		A
Passifloraceae	<i>Passiflora caerulea</i> L.	maracujá	T
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll. Arg.	sarandi-vermelho	S
Poaceae	<i>Guadua trinii</i> (Nees) Nees ex Rupr.	bambu	A
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i> sp.	cocoloba	A
	<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	marmeleiro	A
Rhamnaceae	<i>Scutia buxifolia</i> Reissek	coronilha	A
Rubiaceae	<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schtdl.	veludinho	A
Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	coentrilho	A
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	chá-de-bugre	A
	<i>Salix humboldtiana</i> Willd	salseiro	A
	<i>Xylosma tweediana</i> (Clos) Eichler	sucará	A
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.	chal-chal	A
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	camboatá-vermelho	A
	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	vassoura-vermelha	S
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	camboatá-branco	A
	<i>Paullinia elegans</i> Cambess.		T
	<i>Serjania meridionalis</i> Cambess.		T
	<i>Urvillea uniloba</i> Radlk.	cipó-timbó	T
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	aguaí	A
	<i>Pouteria salicifolia</i> (Spreng.) Radlk.	sarandi-mata-olho	A
Smilacaceae	<i>Smilax campestris</i> Griseb.	japecanga	T
Styracaceae	<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	carne-de-vaca	A
Solanaceae	<i>Cestrum strigillatum</i> Ruiz & Pav.	coerana	S
	<i>Solanum laxum</i> Spreng.	joá-cipó	T
Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	embira	S
Tiliaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	açoita-cavalo	A
Verbenaceae	<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) Tronc.	garupá	S
Vitaceae	<i>Cissus striata</i> Ruiz & Pav.		T

Fonte: Elaborado pela autora (2018). Hábito: A- Árvore; S- Arbusto; T- Trepadeira; E- Epífito; HE- Hemiparasito.

Conforme mencionado anteriormente, essa composição florística apresenta-se de forma diferente, dependendo do local em que ocorre, sendo mais diversificada nas matas ciliares, essa diversidade tende a reduzir a medida que a vegetação avança em direção às encostas, onde algumas espécies tem maior facilidade de estabelecer-se, enquanto outras, que requerem maior sombreamento ou disponibilidade hídrica acabam restringindo-se às formações ciliares (Figura 34).

Figura 34 - Forma como a vegetação distribui-se, a partir das matas ciliares até as encostas.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Na imagem da Figura 34 é possível verificar a mudança na composição florística à medida que a vegetação avança sobre a encosta, ocorrendo uma diminuição da diversidade de espécies, adquirindo aspecto de *vegetação de serras* com presença do arbusto *Baccharis aliena* (Spreng.) Joch. Müll, popularmente conhecido como alecrim.

4.3 ESTUDO CORRELATIVO

A associação da vegetação com determinados ambientes, em função da insolação recebida, disponibilidade hídrica, entre outros fatores, está diretamente

² Nomenclatura alusiva ao “matorral serrano”, vegetação arbustiva de transição entre a vegetação arbórea das partes mais baixas e a vegetação de ervas das partes mais elevadas das serras de Córdoba, Argentina. Fonte: Deble et al (2005).

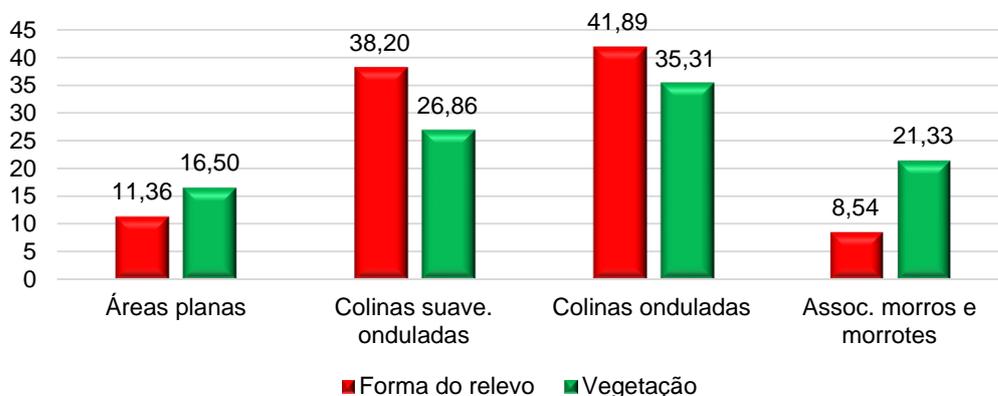
relacionada à configuração do relevo de uma área. As formas e composição do relevo são fatores que contribuem na determinação da ocorrência e dos tipos de vegetação de determinado local. Alguns estudos mais detalhados abordam a relação existente entre a distribuição da vegetação e de suas tipologias e os fatores do meio físico, como o relevo, podendo-se citar, dentre eles, Marchiori (2004), Alves et al (2010), Bispo (2007 e 2012), Bispo et al (2010) e Guadagnin e Trentin (2015).

A seguir são analisadas a correlação entre a vegetação florestal e as formas, elementos e componentes do relevo da área de estudo.

4.3.1 Relação entre a vegetação florestal e as unidades morfológicas

Relacionando-se a vegetação florestal com as formas do relevo da área de estudo, em termos de valores absolutos, obtém-se o seguinte resultado (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Porcentagem de ocorrência das unidades morfológicas da área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada unidade.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

De modo geral, observa-se uma significativa ocorrência de vegetação em áreas de colinas (62,17%), devido principalmente à essas áreas, juntas, constituírem-se na maior porção da área de estudo (80,09%), o que difere da correlação apresentada nas demais formas, que embora possuam áreas menores, apresentam uma maior porcentagem da vegetação, sendo mais expressiva a ocorrência da vegetação

florestal nas áreas cujo relevo é formado pela associação de morros e morrotes, que compreende 8,54% do total da área de estudo e possui 21,33% do total da vegetação.

4.3.1.1 Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades morfológicas

A razão de frequência da vegetação florestal nas unidades morfológicas foi calculada a partir da seguinte equação,

$$F_r = \frac{V_i}{V} / \frac{A_i}{A}$$

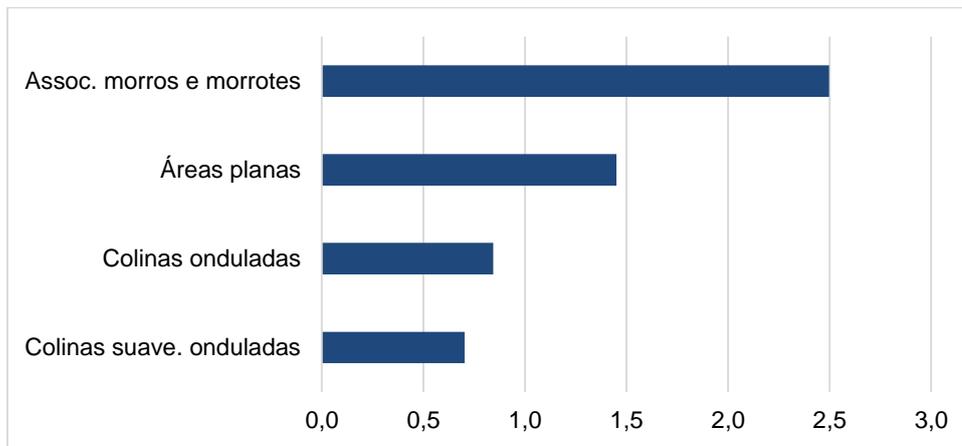
onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total das unidades morfológicas, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada unidade morfológica e A_i é a área ocupada por cada unidade morfológica. Os resultados são apresentados na Tabela 8 e também no Gráfico 4.

Tabela 8 - Razão de frequência da vegetação florestal nas formas de relevo.

Forma do relevo	Área km ² (A _i)	Vegetação - área Km ² (V _i)	Razão de frequência F _r
Áreas planas	571,5	41,63	1,45
Colinas suavemente onduladas	1920,02	67,78	0,70
Colinas onduladas	2105,77	89,12	0,84
Associação de morros e morrotes	429,34	53,83	2,50
Total	5026,63 (A)	252,36 (V)	

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Gráfico 4 - Razão de frequência da vegetação florestal nas formas de relevo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Tratando-se de valores relativos, os resultados obtidos demonstram uma maior frequência da vegetação florestal nas áreas onde o relevo é caracterizado pela associação de morros e morrotes ($F_r = 2,50$) o que demonstra significativa ocorrência de vegetação associada à essas unidades de relevo, que em termos de área, representa somente 8,54% do total. Essa frequência evidencia a presença da vegetação florestal nas áreas mais íngremes e elevadas da área de estudo, com declividades superiores a 15% e amplitudes altimétricas maiores que 100 metros.

Também há uma forte correlação com as áreas planas, cuja razão de frequência é de 1,45, tais áreas consistem principalmente nas planícies de acumulação dos principais canais de drenagem da área de estudo, cuja declividade é inferior a 2%, nesse caso, a tipologia de vegetação provavelmente é de matas ciliares.

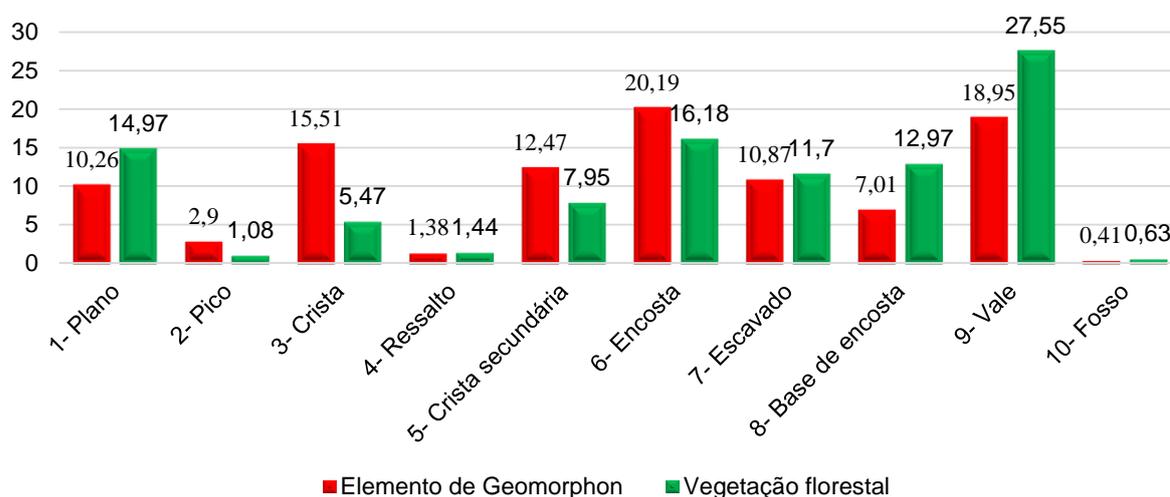
Nas demais formas de relevo a razão de frequência da vegetação florestal é menor que 1, indicando uma baixa correlação, principalmente nas colinas suavemente onduladas ($F_r = 0,70$), onde a vegetação predominante é a campestre.

4.3.2 Relação entre a vegetação florestal e os elementos de *Geomorphons*

Ao se analisar a sobreposição da vegetação florestal nos elementos de *geomorphons*, em valores absolutos, pode-se identificar algumas associações, como

a predominância da vegetação nos vales, encostas e áreas planas, respectivamente (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Porcentagem de ocorrência dos elementos de geomorphons na área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada elemento.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

É possível explicar essa associação devido aos elementos de vales e áreas planas (42,52%), principalmente, estarem associados à uma certa disponibilidade hídrica, por configurarem-se nas áreas de acumulação e planícies de inundação das bacias hidrográficas presentes na área de estudo, dessa forma, pode-se inferir que essa vegetação constitui-se de matas ciliares, que ocorrem principalmente associadas aos cursos d'água.

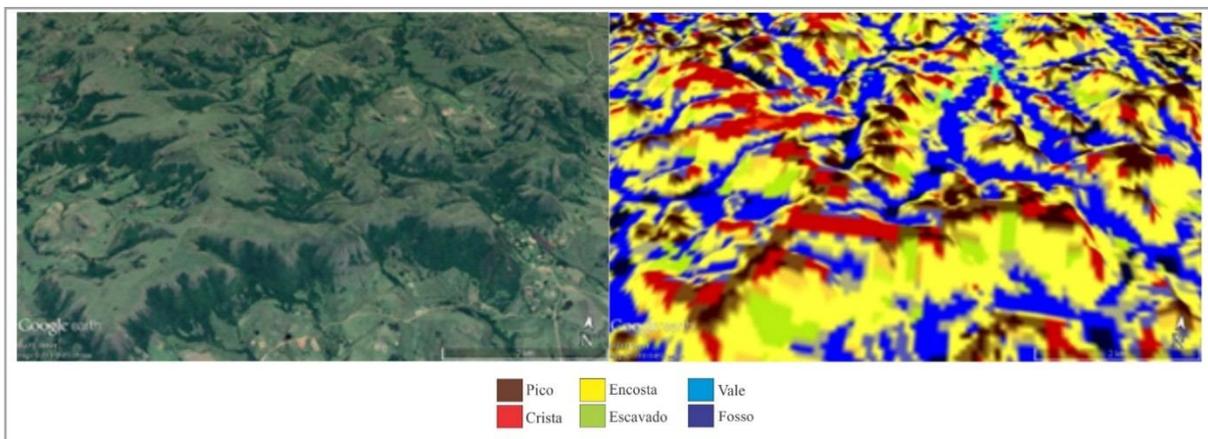
Quanto à vegetação ocorrente em encostas, bases de encostas e relevos escavados, que juntas somam 40,85% do total da vegetação florestal da Serra do Caverá, pressupõe-se que essa consiste na vegetação que avança, a partir das matas ciliares através dessas formas de relevo, para as demais áreas da Serra do Caverá, onde a água não encontra-se de forma disponível diretamente, porém outros elementos contribuem para essa dispersão, como as concavidades do relevo escavado por exemplo, e, dessa forma, avançando sobre as encostas mais íngremes.

Também é possível verificar que, apesar de os elementos picos e cristas ocuparem juntos 18,41% da área de estudo, representando as áreas mais elevadas e topos da Serra do Caverá, possuem apenas 6,55% da vegetação florestal, o que

demonstra um estágio ainda incipiente do avanço dessa vegetação, que ocupa por hora apenas os vales, encostas e porções de concavidades do relevo sendo bastante restrita nas áreas de crista.

Essa distribuição da vegetação florestal nos elementos do relevo da Serra do Caverá pode ser melhor visualizada nas imagens com visada em torno de 45° de inclinação, da Figura 35, que mostram a posição que cada elemento ocupa na vertente, bem como onde há presença de vegetação florestal.

Figura 35 - Representação do *Google Earth* com visada em torno de 45° de inclinação, ao lado a mesma visada com sobreposição dos elementos de *Geomorphons*.



Fonte: Imagem Google Earth, modificada pela autora (2018).

Nas imagens é possível verificar a relação espacial apresentada anteriormente no Gráfico da Figura 8, onde a vegetação florestal distribui-se pelas encostas (amarelo), escavados (verde) e vales (azul).

4.3.2.1 Razão de frequência de vegetação florestal nos elementos de Geomorphons

O cálculo da razão de frequência da vegetação florestal nos elementos de geomorphons foi realizado a partir da equação,

$$F_r = \frac{V_i}{V} / \frac{A_i}{A}$$

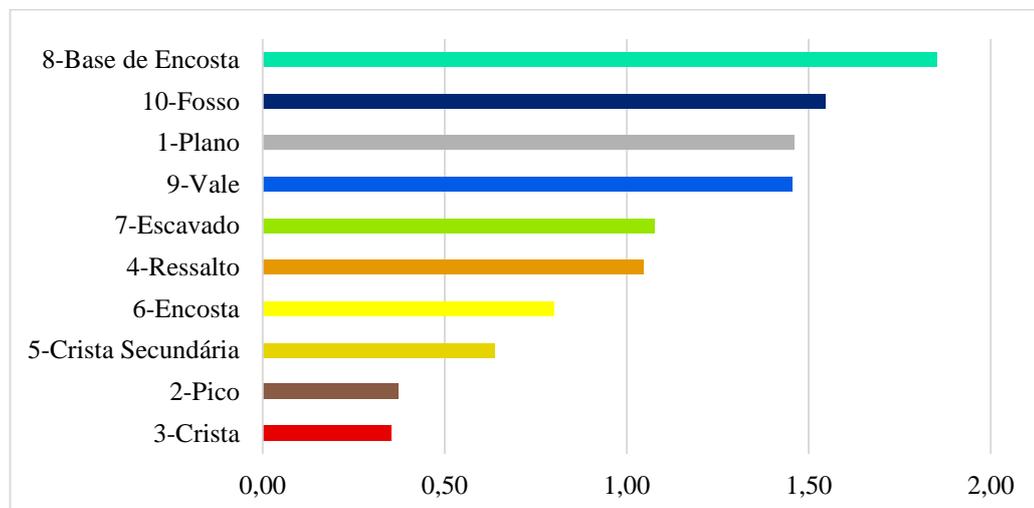
onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total dos geomorphons, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada elemento de *geomorphons* e A_i é a área ocupada por cada elemento de *geomorphons*. Os resultados são apresentados na Tabela 9 e também no Gráfico 6.

Tabela 9 - Razão de frequência da vegetação florestal nos elementos de *geomorphons*.

Elemento de <i>Geomorphon</i>	Área Km ² (A _i)	Vegetação - área Km ² (V _i)	Razão de Frequência F _r
1-Plano	516,05	37,80	1,46
2-Pico	146,20	2,74	0,37
3-Crista	779,80	13,81	0,35
4-Ressalto	69,52	3,65	1,05
5-Crista Secundária	627,15	20,08	0,64
6-Encosta	1015,10	40,84	0,80
7-Escavado	546,45	29,55	1,08
8-Base de Encosta	352,50	32,76	1,85
9-Vale	952,86	69,53	1,45
10-Fosso	20,63	1,60	1,54
Área Total	5026,26 (A)	252,36 (V)	

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

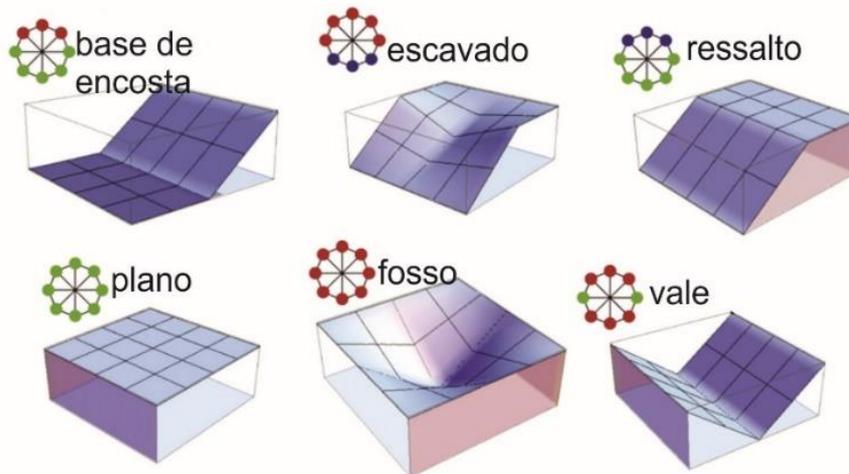
Gráfico 6 - Razão de frequência da vegetação florestal nos elementos de *geomorphons*.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

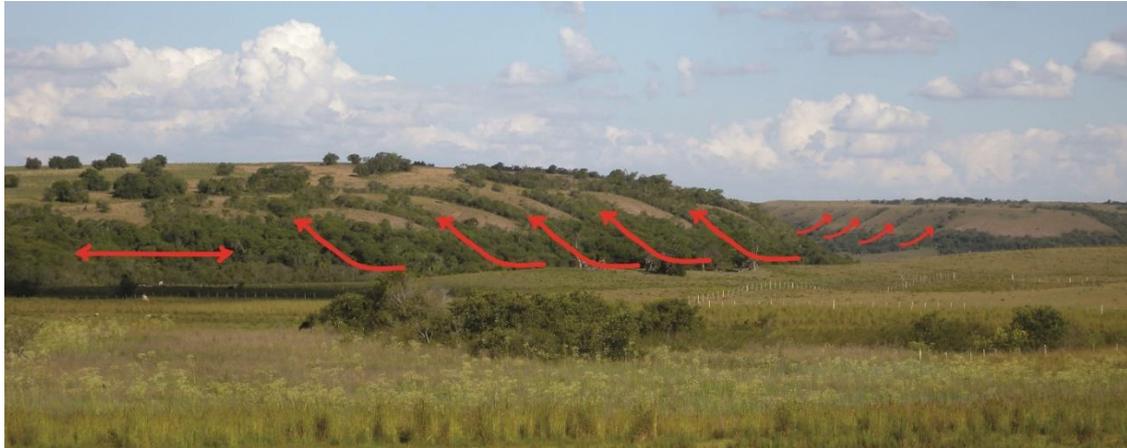
A partir da análise dos resultados percebe-se que a vegetação florestal ocorre com frequência em seis dos dez elementos (Figura 36), demonstrando grande correlação com as bases de encostas ($F_r = 1,85$) o que reforça o pressuposto anteriormente, de que a vegetação florestal encontra-se em ascensão a partir das matas ciliares, associadas aos elementos fosso ($F_r = 1,54$), plano ($F_r = 1,46$) e vale ($F_r = 1,45$), onde possivelmente encontra maior disponibilidade hídrica, para demais áreas, por meio de outros fatores que contribuem nessa expansão, como as concavidades do relevo, no elemento escavado ($F_r = 1,08$) (Figura 37), e, também, associando-se a eventuais contatos ou afloramentos rochosos, como as cornijas, no elemento ressalto ($F_r = 1,05$) (Figura 38). Em todos esses elementos de geomorphons a vegetação florestal apresenta alta correlação de frequência, com valores de F_r superiores a 1.

Figura 36 - Elementos de *geomorphons* cuja vegetação apresenta alta correlação.



Fonte: Modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

Figura 37 - Avanço da vegetação florestal a partir da base de encosta pelas concavidades do relevo.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

Nos quatro elementos restantes, a razão de frequência apresentou valores menores que 1, indicando uma baixa correlação, principalmente nos elementos pico ($F_r = 0,37$) e crista ($F_r = 0,35$), demonstrando a pouca ocorrência de vegetação florestal nas porções superiores das vertentes e nos divisores de águas, que, muitas vezes, são topos de morrotes e morros com rocha exposta e/ou solo muito raso, o que dificulta seu estabelecimento (Figura 38).

Figura 38 - Vegetação florestal associada à cornija (ressalto) em morrote.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

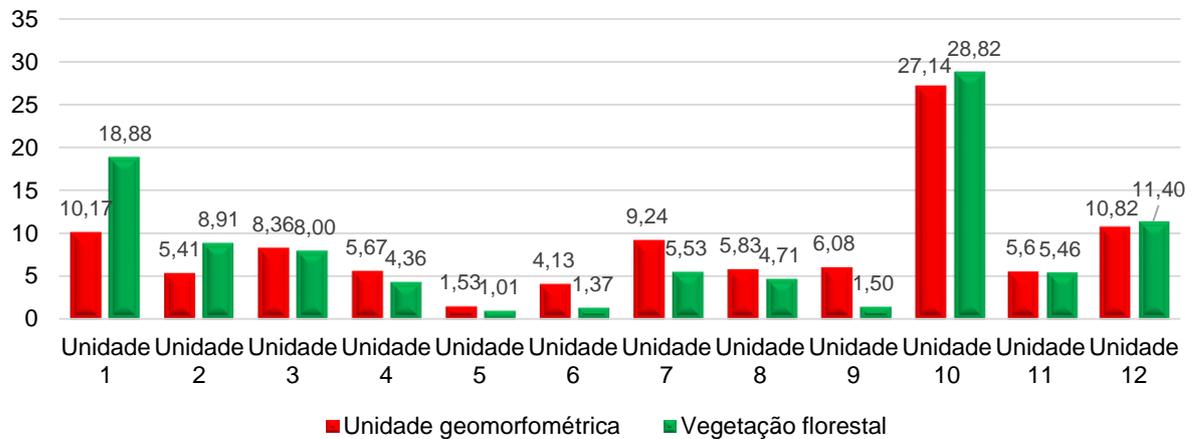
Tais resultados fortalecem o pressuposto por Marchiori (2004, p. 28) de que a vegetação campestre, dominante em locais mais planos e de relevo suavemente ondulado, perde espaço para o elemento arbóreo, principalmente em encostas montanhosas e áreas dissecadas pela rede de drenagem. Segundo o autor, o estabelecimento de árvores e arbustos em meio ao campo normalmente ocorre na interface entre solo e rocha em áreas de solos pedregosos, na região do Escudo e na Serra do Caverá, onde as raízes pivotantes tem maior facilidade de penetração. Após o crescimento, o sombreamento proporcionado, prejudica o desenvolvimento das gramíneas circundantes, favorecendo o estabelecimento de novas árvores e arbustos. Desta forma, surgem “pequenos núcleos de vegetação silvática em pleno campo, precursores dos capões-de-mato, principalmente em ravinas e vales entalhados no dorso de coxilhas”.

4.3.3 Relação entre a vegetação florestal e os componentes do relevo - unidades geomorfométricas

Os componentes do relevo considerados neste estudo, como altitude, declividade, orientação de vertentes, plano e perfil de curvatura, influenciam a vegetação através de distintos aspectos da paisagem (temperatura, exposição solar e hidrografia, por exemplo), além de exercer influência sobre o transporte e o acúmulo de nutrientes, estruturas de propagação, entre outros (BISPO et al, 2010).

Quando se relaciona a vegetação florestal com as unidades geomorfométricas, em termos de valores de área absolutos, obtém-se uma maior associação com algumas unidades, conforme Gráfico 7.

Gráfico 7 - Porcentagem de ocorrência das unidades geomorfométricas na área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada unidade.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Pela análise do Gráfico 7, observa-se a predominância da vegetação na unidade 10, com 28,82%, essa associação pode ser explicada, em parte, devido à essa unidade ser a maior em área, correspondendo a 27,14% da área total de estudo e, também, por constituir-se em áreas baixas, associadas aos cursos d'água, onde possivelmente encontra-se a maior parte da vegetação ciliar. Posteriormente, destaca-se a vegetação ocorrente na unidade 1, com 18,88%, nesse caso, a vegetação encontra-se em áreas mais elevadas, nos topos das vertentes que formam a área de estudo, onde há maior concentração da água devido ao plano de curvatura convergente, o que favorece a ascensão de algumas espécies provenientes da mata ciliar (Figura 39).

Figura 39 - Vegetação florestal na mata ciliar e avançando na encosta pelas vertentes côncavas.



Fonte: Trabalho de campo (2017).

4.3.3.1 Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas

O cálculo da razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas foi realizado a partir da equação,

$$F_r = \frac{V_i}{V} / \frac{A_i}{A}$$

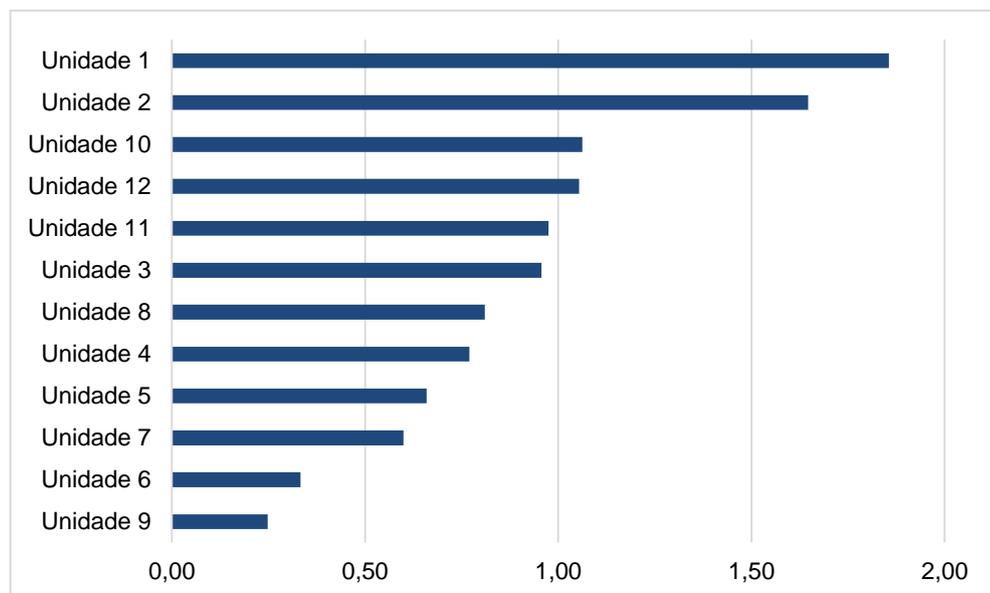
onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total das unidades geomorfométricas, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada unidade geomorfométrica e A_i é a área ocupada por cada unidade geomorfométrica. Os resultados são apresentados na Tabela 10 e também no Gráfico 8.

Tabela 10 - Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas.

Unidade Geomorfométrica	Área Km ² (A _i)	Vegetação - área Km ² (V _i)	Razão de Frequência F _r
Unidade 1	511,46	47,59	1,86
Unidade 2	272,01	22,46	1,65
Unidade 3	420,42	20,16	0,96
Unidade 4	285,07	11,00	0,77
Unidade 5	77,17	2,55	0,66
Unidade 6	207,50	3,46	0,33
Unidade 7	464,69	13,96	0,60
Unidade 8	292,87	11,89	0,81
Unidade 9	305,68	3,80	0,25
Unidade 10	1364,04	72,63	1,06
Unidade 11	281,55	13,76	0,97
Unidade 12	543,86	28,74	1,05
Área total	5026,32 (A)	252,00 (V)	

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Gráfico 8 - Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Tratando-se de valores relativos, os resultados obtidos demonstram uma maior frequência da vegetação florestal nas unidades 1 ($F_r = 1,86$) e 2 ($F_r = 1,65$), sendo caracterizadas pela altitude maior que a média de 180 metros e declividades superiores a 5%, essa relação demonstra que a vegetação florestal encontra-se fortemente associada a porções mais elevadas na área de estudo, embora relacione-se também à áreas com menor elevação e baixas declividades, evidenciada pela frequência nas unidades 10 ($F_r = 1,06$) e 12 ($F_r = 1,05$), porém com menor expressão.

Nas demais unidades, a razão de frequência da vegetação florestal é menor que 1, indicando uma baixa correlação.

Esses resultados reforçam uma provável ocorrência de vegetação florestal em áreas planas e de baixas altitudes, constituindo-se nas matas ciliares que acompanham os principais cursos de água da área de estudo, bem como suas planícies de acumulação e uma expressiva ocorrência de vegetação florestal em áreas mais elevadas, com declividades superiores a 5%, bem como plano de curvatura da vertente convergente e perfil côncavo, indicando um possível avanço da vegetação ciliar em direção às encostas mais íngremes da Serra do Caverá, por meio de canais com provável concentração de água em períodos de maior umidade.

Este avanço da vegetação proveniente da mata ciliar em direção às áreas campestres foi abordado por Alves (2008, p.95), de acordo com o autor, “em áreas com planície de acumulação reduzida, a floresta de galeria pode conectar-se a capões-de-mato localizados à meia encosta de colinas ou morrotes vulcânicos, bem como à vegetação de cornijas ou de morrotes de arenito”, esta conexão contribui com algumas espécies na composição florística destas formações.

Veloso e Góes-Filho (1982) ao abordar a vegetação ocorrente na Região da “Savana Estépica Parque”, destacam que esta formação apresenta, fitofisionomicamente, dois estratos vegetativos diferentes: um gramíneo-lenhoso contínuo e outro arbóreo aberto descontínuo, que se estende a partir das matas ciliares, nos fundos dos vales, até as partes elevadas das encostas.

Quando se relaciona a vegetação florestal com os componentes do relevo separadamente, observa-se algumas correlações entre esta tipologia de vegetação e determinadas classes. Na sequência serão apresentados os resultados de cruzamentos da vegetação florestal com os atributos declividade (Tabela 11), plano de curvatura de vertentes, perfil de curvatura de vertentes e orientação de vertentes.

Tabela 11 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal nas classes de declividade da área de estudo.

Classe	Área (km²)	Porcentagem
< 2%	86,60	34,36
2 - 5%	45,55	18,07
5 - 15%	77,44	30,73
> 15%	42,42	16,83

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A vegetação florestal na área de estudo distribui-se em todas as classes de declividade, contudo apresenta uma maior ocorrência em áreas de declividades inferiores a 2%, representando 34,36% do total, essa vegetação provavelmente constitui-se de matas ciliares, que se associam às áreas mais planas, geralmente com cursos d'água. Há também uma considerável ocorrência da vegetação florestal nas classes de declividade de 5 a 15%, com 30,76% do total, que, nesse caso, consiste na vegetação ocorrente nas encostas dos morros e morrotes da área de estudo.

Com relação ao plano e perfil de curvatura das vertentes, há também a predominância da vegetação florestal em determinadas classes, conforme verifica-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal no plano e perfil de curvatura das vertentes da área de estudo.

Perfil de curvatura	Área (Km²)	Porcentagem
1- Convexo	103,60	41,11
2- Côncavo	148,41	58,89
Plano de curvatura	Área (Km²)	Porcentagem
1- Convergente	145,18	57,61
2- Divergente	106,83	42,39

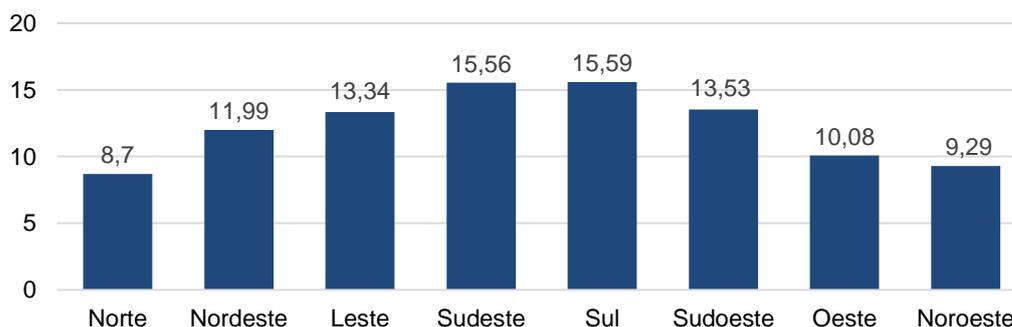
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A vegetação florestal apresenta maior ocorrência em vertentes com plano de curvatura convergente (57,61%) e perfil côncavo (58,89%), indicando a associação com áreas onde há maior concentração de água e menor velocidade do fluxo, o que

proporciona um ambiente favorável ao desenvolvimento das espécies arbóreas pela disponibilidade hídrica e possível acúmulo de nutrientes (Figuras 37 e 39).

Ao se relacionar a vegetação florestal com as orientações das vertentes na área de estudo (Gráfico 9), observa-se uma distribuição relativamente homogênea.

Gráfico 9 - Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal nas orientações das vertentes.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A análise do gráfico permite observar que a vegetação florestal ocorre com predominância nas vertentes das porções sul (15,59%), sudeste (15,56%) e sudoeste (13,53%) da área de estudo, o que demonstra que o sombreamento recebido nestas áreas é outro fator que pode favorecer o desenvolvimento da vegetação arbórea.

4.4 PADRÕES DE AVANÇO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL

A principal característica dos Campos Sulinos é a predominância da vegetação campestre, composta por gramíneas e herbáceas, recobrando o relevo de planícies, colinas onduladas e por vezes morrotes. A vegetação florestal nessa província ocorre principalmente associada a cursos de água, formando matas ciliares, ou então na forma de pequenos núcleos, constituindo os chamados capões-de-mato e algumas matas de encosta. Essa coexistência de duas tipologias de vegetação, com características e necessidades distintas, na região sudoeste do Rio Grande do Sul já vem sendo abordada por pesquisadores há algumas décadas, pode-se citar principalmente os trabalhos de Lindman (1974), Rambo (1956) e Marchiori (2004), que aponta o relevo como um dos fatores do meio a ser analisado cuidadosamente quando

se busca explicar a coexistência da vegetação florestal e campestre em uma mesma área.

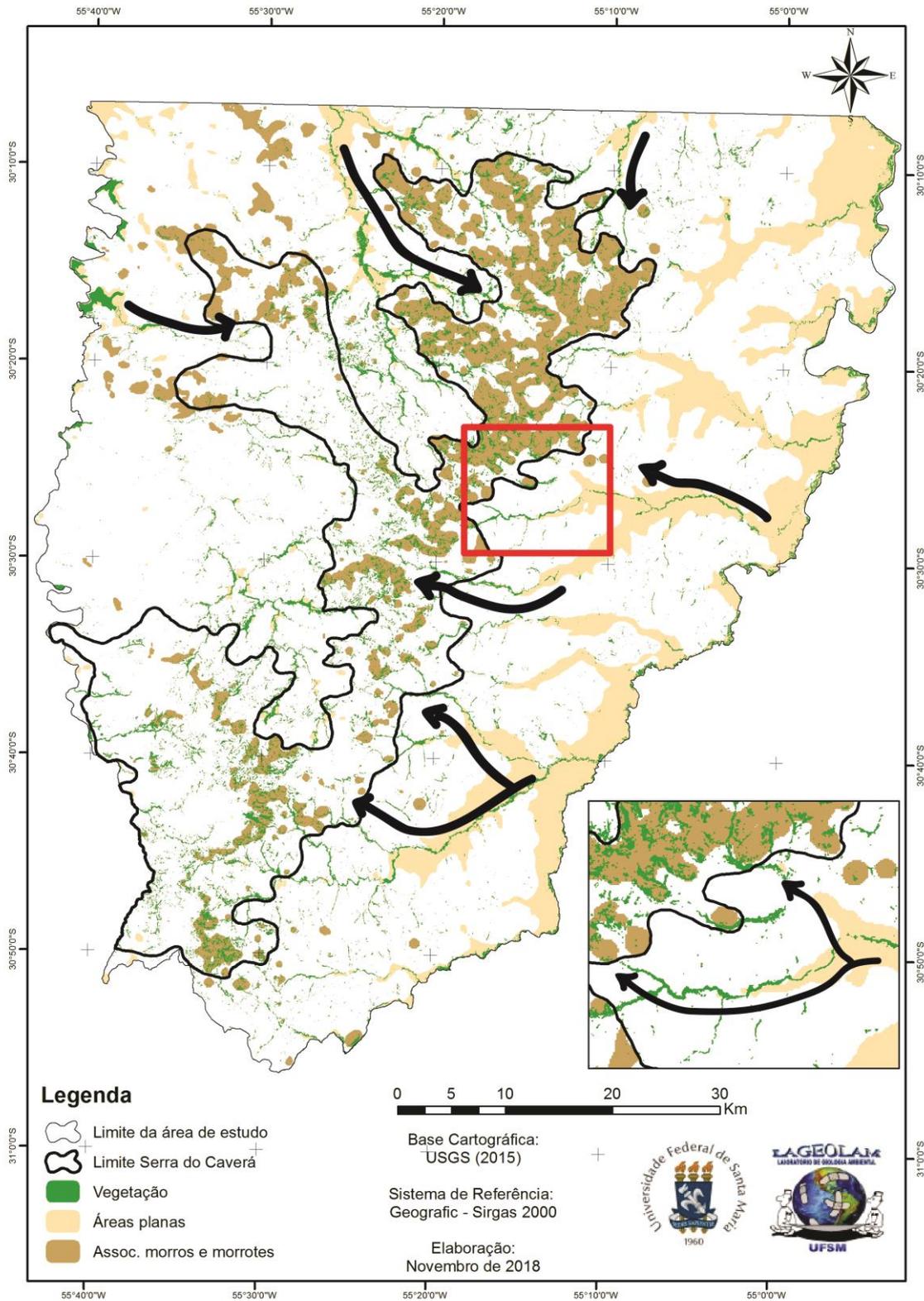
O fato é que a ocorrência da vegetação florestal vem se intensificando ao longo dos últimos milhares de anos, expandindo suas áreas, favorecidas pelo clima holocênico, porém seu estabelecimento depende de outros fatores, além do climático.

Na área de estudo, isso fica muito evidente, principalmente pelo recorte espacial obtido que não se restringe apenas à Serra do Caverá, mas sim ao seu entorno, o que possibilita uma análise mais ampla. A vegetação florestal encontra condições que favorecem seu estabelecimento, principalmente na Serra do Caverá, porém quando se analisa a área como um todo, ainda há o predomínio da vegetação campestre.

Seguindo a proposição feita por Marchiori (2004), nesse trabalho o relevo foi analisado cuidadosamente a fim de explicar os padrões de avanço da vegetação florestal nos campos sulinos.

Quando se analisaram as formas do relevo, a partir do cálculo da razão de frequência, em valores relativos, a vegetação florestal apresentou predomínio nas áreas planas e principalmente nas associações de morros e morrotes, onde a frequência com que a vegetação florestal ocorre é considerável (Figura 40).

Figura 40 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nas formas do relevo.



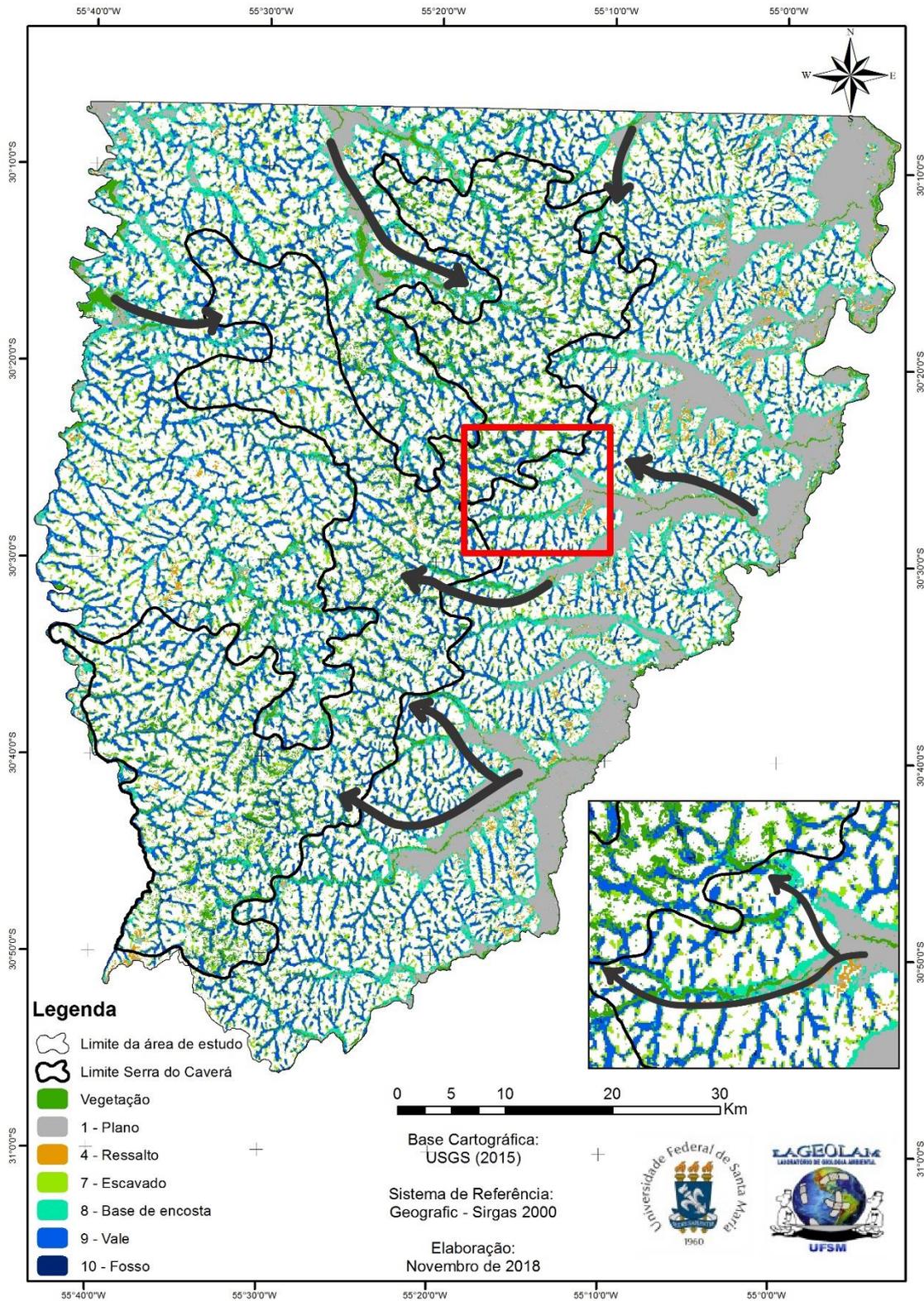
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Esse resultado reforça o que muitos autores que estudaram a vegetação na região sudoeste do Estado apontaram, que as formações florestais ocorrem na forma de matas ciliares, nas planícies de acumulação dos cursos d'água, ou seja, áreas planas e também ocupando encostas em áreas com relevo mais íngreme, nesse estudo, denominadas associações de morros e morrotes.

Porém, apesar de evidenciar, através de resultados baseados em dados quantitativos, o que já foi abordado por autores em trabalhos anteriores, a relação da vegetação florestal com as formas do relevo por si só não explica como a vegetação encontra condições para estabelecer-se nesses ambientes. Para isso, foram analisados em nível de maior detalhe, a relação da vegetação florestal com os elementos do relevo e com as unidades das vertentes.

Quando aos elementos do relevo, os resultados obtidos através da análise da razão de frequência, demonstraram que a vegetação florestal ocorre com maior frequência em seis dos dez elementos de *geomorphons* estudados, em ordem de maior relação, as bases de encostas, os elementos fosso, plano, vale e também os elementos escavado e ressalto (Figura 41). A partir desse resultado, podem-se inferir algumas preferências do estabelecimento da vegetação, que, apesar de ocorrer com maior frequência nas bases de encosta, ainda é bastante associada à áreas com possível disponibilidade hídrica, como fosso, plano e vale, o que possivelmente caracteriza-se como vegetação ciliar, de onde avançam para as bases de encosta, através dos elementos escavado, que por sua configuração também devem apresentar uma relativa concentração de água em alguns períodos, até os topos com ressaltos, que podem apresentar contatos rochosos e afloramentos na forma de cornijas, onde a vegetação florestal, através das raízes pivotantes, tem maior facilidade em se estabelecer.

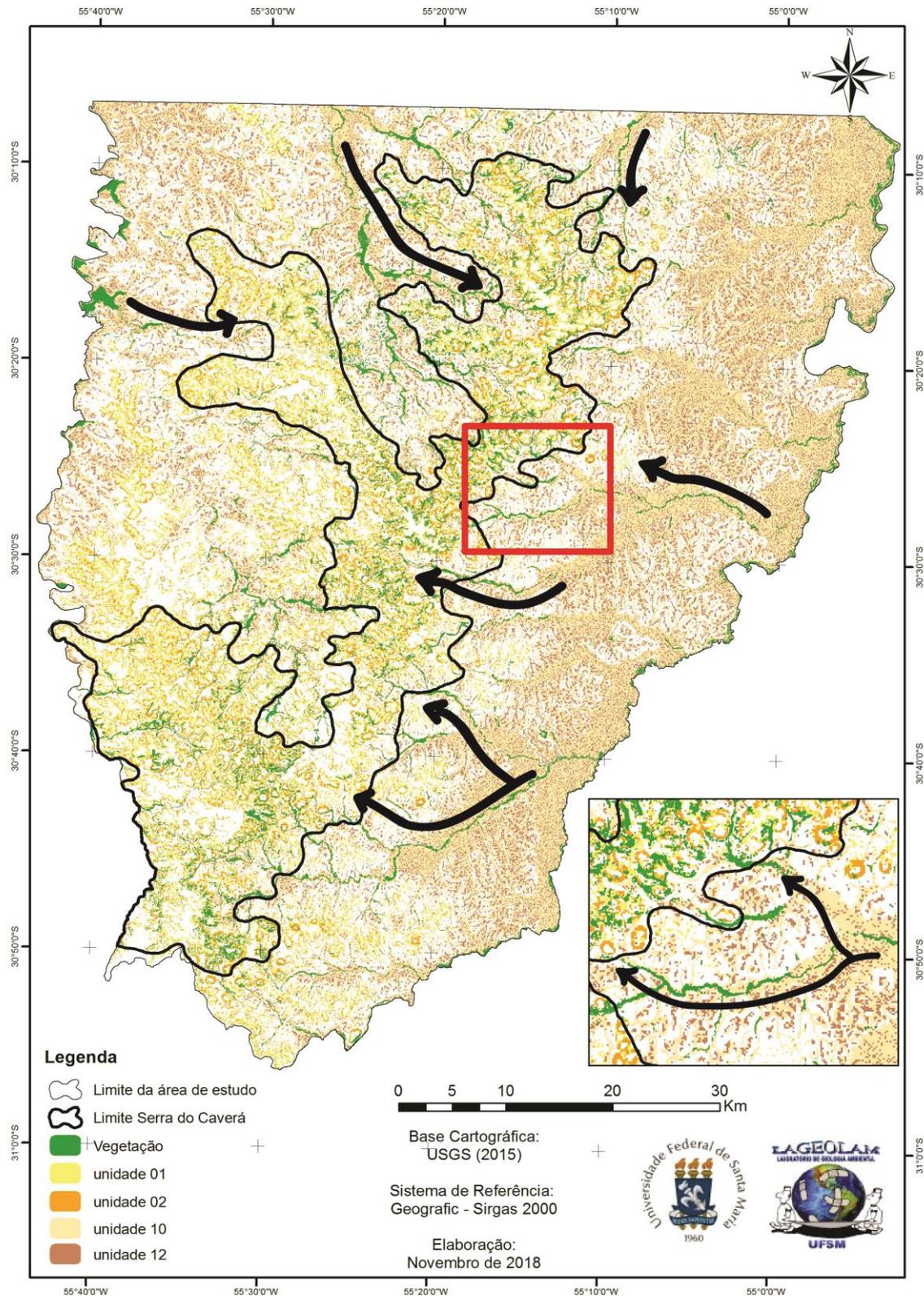
Figura 41 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nos elementos do relevo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Através de um maior detalhamento, foi estudada a relação entre a vegetação florestal e as unidades geomorfométricas, onde se analisou o relevo ao nível de vertente. Nesse estudo, os resultados apontaram uma maior frequência da vegetação florestal em quatro das 12 unidades, sendo elas 1, 2, 10 e 12 (Figura 42), principalmente nas unidades 1 e 2, que, por apresentarem altitudes maiores que a média de 180 metros, declividades superiores a 5%, plano de curvatura da vertente convergente e perfil de curvatura côncavo, provavelmente fornecem condições para a ascensão da vegetação florestal proveniente das matas ciliares que constituem as unidades 10 e 12, áreas planas e de baixas altitudes.

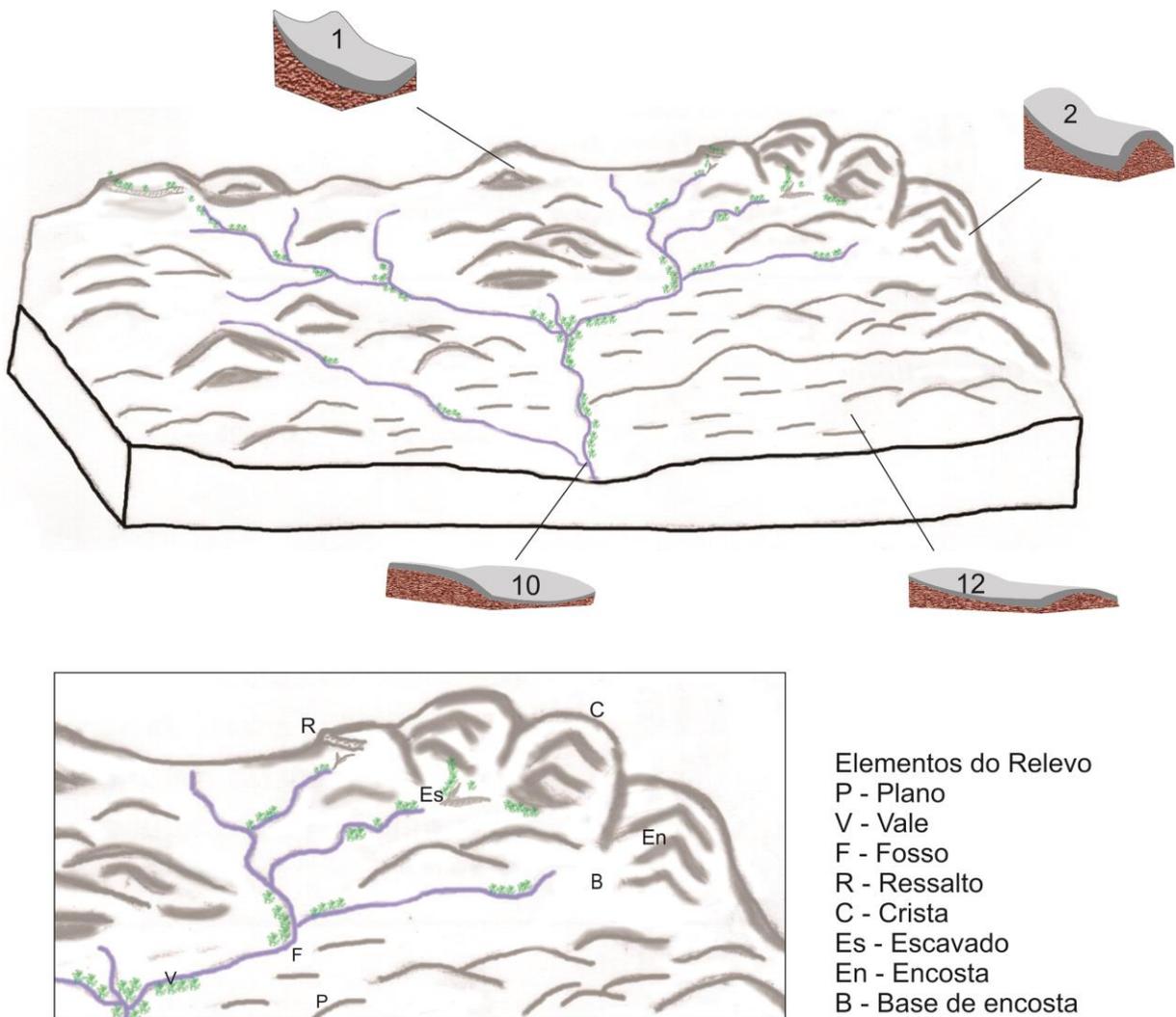
Figura 42 - Mapa de áreas preferenciais de avanço da vegetação florestal nos componentes das vertentes.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Desse modo, é possível inferir que a vegetação florestal, na área de estudo, apresenta alguns padrões no seu avanço sobre as áreas predominantemente campestres (Figura 43). Esse se dá, principalmente, a partir das matas ciliares, onde além da disponibilidade hídrica, a vegetação florestal encontra condições edáficas favoráveis ao seu estabelecimento, e, a partir das matas ciliares, estende-se pelas bases de encostas, de onde avança até as porções superiores das encostas mais íngremes, através das vertentes côncavas, dos relevos escavados e dos contatos rochosos observados também nos trabalhos de campo.

Figura 43 - Bloco diagrama com representação esquemática do relevo da área de estudo com as respectivas formas, elementos e componentes das vertentes.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O bloco diagrama representa as características do relevo por onde a vegetação encontra condições de avançar na paisagem. Nas associações de morros e morrotes, onde ocorrem principalmente os elementos base de encosta, escavado e ressalto e os componentes de vertentes convergentes côncavas (unidade 1) e divergentes côncavas (unidade 2), ambas em altitudes maiores do que a média de 180 metros e declividades superiores a 5%. Enquanto que nas áreas planas, observam-se os elementos de relevo plano, fosso e vale e os componentes de vertentes convergentes convexas (unidade 10) e divergentes convexas (unidade 12) em altitudes menores do que 180 metros e declividades inferiores a 5%.

5 CONCLUSÃO

As formações florestais na região oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul apresentam um importante papel na manutenção e dispersão da biodiversidade de fauna e flora, além de atuarem na qualidade e perenidade dos corpos hídricos, embora não se constituam na tipologia de vegetação predominante, que nessa região é a campestre.

Apesar de possuir condições climáticas favoráveis ao seu estabelecimento, a vegetação florestal ainda encontra barreiras à sua dispersão nessa região. Desse modo, sua ocorrência se restringe a locais onde encontra fatores do meio físico que a possibilitam e que a ação antrópica não se dá de forma muito intensa.

Na Serra do Caverá a vegetação florestal encontra-se bem estabelecida e está associada principalmente às condições topográficas da área. Esse estudo demonstrou que o relevo, principalmente através de seus parâmetros morfométricos e morfológicos, exerce grande influência sobre a distribuição e avanço da vegetação florestal na área de estudo.

Os resultados evidenciaram que a vegetação se associa principalmente a alguns elementos do relevo, como vales, fosso, bases de encostas e áreas planas, além de possuir uma forte correlação com o plano de curvatura e perfil de curvatura das vertentes, principalmente quando côncavas e convergentes.

As porções do relevo que não possuem canais de drenagem ou sua morfometria não proporciona a concentração de água, mesmo em eventos de precipitação, dificilmente apresentam vegetação florestal associada, ou esta encontra-se em estágios muito iniciais de sucessão. A morfometria age com grande força no controle dessa dinâmica de avanço e estabelecimento da vegetação florestal na área.

Os métodos e técnicas utilizados para esse estudo revelaram-se adequados, a partir dos dados SRTM, da geração do MDE e do uso do SIG ArcGIS permitiram uma classificação de qualidade e o cruzamento das variáveis em estudo de modo a obter os padrões de distribuição da vegetação florestal em função dos atributos topográficos analisados.

O cálculo estatístico aplicado nesse trabalho, para estabelecer a razão de frequência, mostrou-se como uma ferramenta bastante adequada à correlação, padronizando a forma de análise da distribuição da vegetação em relação aos elementos do relevo em estudo.

Dessa forma, os resultados do trabalho confirmaram a hipótese norteadora, estabelecendo relações predominantes entre a distribuição da vegetação florestal e as formas e os elementos do relevo e as características das vertentes, de modo que se constatou que algumas feições analisadas favorecem a dispersão da vegetação florestal contribuindo para seu estabelecimento e sucesso na competição com espécies campestres, principalmente quando há possibilidade de concentração da água nas vertentes.

Os objetivos propostos foram alcançados na medida que foi feita a espacialização das ocorrências da vegetação florestal natural e o levantamento das espécies mais representativas, bem como o mapeamento do relevo, a partir de suas formas, elementos e componentes das vertentes, relacionando ambos à vegetação, o que possibilitou propor padrões de distribuição da vegetação florestal para a Serra do Caverá e seu entorno.

A distribuição e avanço das formações florestais nos campos sulinos requer que estudos dessa natureza sejam continuados analisando outras áreas e principalmente buscando novas correlações, através de análises mais detalhadas e que considerem os diversos atributos do meio físico na busca dessas relações.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. de. A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: análise crítica. **Revista IG**, São Paulo, p.5-23, 1983.

AB'SÁBER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. *Revista Orientação*, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (IGEOG/USP), v. 3, p. 45-48, 1967. In: GAUTTIERI, M. C. M. et al. (Orgs.). **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball edições, 2010. p. 329-334.

_____. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. III Simpósio sobre o Cerrado, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/ Editora Edgard Blücher, pp. 1-14, 1971. In: GAUTTIERI, M. C. M. et al. (Orgs.). **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball edições, 2010. p.404-414.

_____. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 3, p. 1-17, 1977. In: GAUTTIERI, M. C. M. et al. (Orgs.). **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca-Ball edições, 2010. p. 415-419.

_____. Os Mecanismos da desintegração das paisagens tropicais no pleistoceno: efeitos paleoclimáticos do período Würm-Wisconsin no Brasil. **Revista Inter-Facies**, São José do Rio Preto, n. 4, p. 1-19, 1979.

_____. Razões da retomada parcial de semiaridez holocênica por ocasião do *Optimum Climático*: primeiras ideias. **Revista Inter-Facies**, São José do Rio Preto, n. 8, p. 1-13, 1980.

_____. A Teoria dos Refúgios: origem e significado. In: 2º CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1992, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP: Instituto Florestal, 1992.

ALVES, F. S. **Estudos Fitogeográficos na Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande - Oeste do RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ALVES, F. S.; ROBAINA, L. E. S.; MARCHIORI, J. N. C. Fitogeografia da bacia hidrográfica do arroio Lajeado Grande - Oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Geografia**. Rio Claro, v. 35, n. 3, p. 605- 622, set/dez. 2010.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

BISPO, P. C. **Dados Geomorfométricos como Subsídio ao Mapeamento da Vegetação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

BISPO, P. C. **Efeitos de geomorfometria na caracterização florístico-estrutural da floresta tropical da região de Tapajós com dados SRTM e PALSAR**. 2012. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação entre as variáveis extraídas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. **Acta Botânica Brasilica**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 96-103, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento da Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/portallbio>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. IBAMA. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental de Ibirapuitã/RS**. 1999. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/pampa/unidades-de-conservacao-pampa/2233-apa-de-ibirapuita.html>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

BOLZON, R. T.; MARCHIORI, J. N. C. A Vegetação no Sul da América: perspectiva paleoflorística. **Revista Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v.1, n. 24, p.5-24, jan/jun. 2002.

BONHAM CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Oxford: Pergamon, 1994.

CABRERA, A. L. Fitogeografia de la Republica Argentina. **Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica**, Buenos Aires, v. 14, n. 1-2, 1971.

CABRERA, A. L.; WILLINK, A. **Biogeografía de America Latina**. Washington: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1973.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [2005]. Livro Digital. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap1/index.php>>. Acesso em: 07 ago. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

DEBLE, L. P.; OLIVEIRA, A. S de; MARCHIORI, J. N. C. O gênero *Heterothalamus* Lessing e táxones afins. **Balduínia**, n.1, p. 1-20, jan. 2005.

DEBLE, L. P. A Vegetação Campestre no Bioma Pampa. In: DEBLE, L. P.; DEBLE, A. S. O.; LEÃO, A. L. S. (Orgs.). **O Bioma pampa: contribuições científicas**. Bagé: Ediurcamp, 2011. p. 84-143.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ESPER ANGLIERI, M. Y. Debris flow susceptibility mapping in a portion of the Andes and Preandes of San Juan, Argentina using frequency ratio and logistic regression models. **Earth Sciences Research Journal**. Bogotá, v. 17, n. 2, p. 159-167, dez. 2013.

FILGUEIRAS, T. S. et al. Caminhamento: um Método Expedito para Levantamentos Florísticos Qualitativos. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 1-179, out/dez. 1994.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain Analysis: Principles and applications**. New York: John Wiley, 2000. p. 51-85.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-RS. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 25, p. 183-199, 2014.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Caracterização e mapeamento da vegetação florestal e sua relação com os componentes do relevo na bacia hidrográfica do arroio Caverá - Oeste do RS/ Brasil. 2015. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

HASENACK, H. WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Ecologia da UFRGS, 2010. CD-ROM.

HUGGET, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1-22, 1975.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232, 1989.

_____. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE/WORKSHOP ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELING, NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS, 3, 1996, Santa Bárbara. **Proceedings...** Santa Bárbara: University of California, 1996. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 5, 2 ed., 2009.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1, 2 ed., 2012.

_____. **Manual Técnico de Pedologia**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 4, 3 ed., 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. **Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature**. *Geomorphology*, v. 86, n.3-4, p. 409-440, 2007.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. *Geomorphology*, v. 182, p. 147-156, 2013.

KAWULE, W. **The Relationship between Physical Environmental Variables and the Spatial Distribution of Vegetation Cover within the Biebrza River Valley Wetland**. 2007. Dissertação (Mestrado em ciência da geo-informação e observação da Terra) – Instituto Internacional de Geo-Ciência da Informação e Observação da Terra, Enschede (Holanda), 2007.

LINDMAN, C. A. M. **A Vegetação no Rio Grande do Sul**. São Paulo: Itatiaia, 1974.

LUPINACCI, C. M.; MENDES, I. A., SANCHEZ, M. S. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas de Gestão Ambiental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, n. 1, p. 1-9, 2003.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. Porto Alegre: EST, 2002.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: embasamento florístico**. Porto Alegre: EST, 2006.

MENDIONDO, E. M.; COLLISCHONN, W.; BULHÕES MENDES, C. A. Modelos numéricos do terreno e suas aplicações a bacias hidrográficas 2: Obtenção de atributos. In: XVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA / II SIMPOSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR, 1998. *Anais...*1998.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria: Imprensa Universitária. UFSM, 1970.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural (1956)**. 3 ed. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2000.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SUDESUL, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Herbário Barbosa Rodrigues, 1988.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; DE NARDIN, D. Proposta de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ibicuí, Oeste do RS. In: V SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E I SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1, 2008, Santa Maria/RS. **Anais...** Santa Maria/RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 2, p.287-298, abr/jun. 2016.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V.; SCCOTI, A. A. V. Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'eGa Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 37-48, 2017.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista da Pós-Graduação de USP**, São Paulo, n.6, 1992.

ROSS, J. L. S. (Org.). **Geografia do Brasil**. 5 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidades, tendências e tipologia**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SAMPAIO, A. J. **Phytogeographia do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1934.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Bacia hidrográfica do rio Ibicuí**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em: 21 out. 2014.

SILVA, R. B. M. et al. Relação solo/vegetação em ambiente de Cerrado sobre influência do Grupo Urucuiá. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 363-373, abr/jun., 2015.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2013, Vitória/ES. 2013. Anais... Vitória/ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classificação automatizada de elementos de relevo no estado do Paraná (Brasil) por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 33-57, 2018.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKAFIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v. 9, n. 3, p.317-329, 2008.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-UFRGS, 2002.

TRENTIN, R; ROBAINA, L. E. S. Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Anais, 2005, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP, Universidade de São Paulo, 2005.

TRENTIN, R. **Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu- Oeste do Rio Grande do Sul- Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Projeto RadamBrasil – Vegetação**, 1982.

VILLERS-RUIZ, L.; TREJO-VÁSQUES, I.; LÓPEZ-BIANCO, J. Dry Vegetation in Relation to the Physical Environment in the Baja California Peninsula, Mexico. **Journal of Vegetation Science**, v. 14, n.4, p. 517-524, ago. 2003.

WILDNER, W. et al. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**, escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008.