

Geociências

Relação da vegetação florestal com os componentes do relevo da Serra do Caverá (Rio Grande Do Sul, Brasil) utilizando o cálculo da razão de frequência

Relationship of forest vegetation with the relief components of Serra do Caverá (Rio Grande Do Sul, Brazil) using the frequency ratio calculation

Paula Mirela Almeida Guadagnin^I , Romario Trentin^{II} 

^I Instituto Federal Farroupilha, Alegrete, RS, Brasil

^{II} Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

Como parte dos estudos da fitogeografia, a busca pela correlação entre os fatores do meio físico na explicação para o desenvolvimento de determinados tipos de vegetação, tem se tornado cada vez mais frequentes, principalmente com a aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permitem por exemplo, desenvolver análises das características do relevo onde ocorrências florestais são encontradas. O presente trabalho busca analisar a relação existente entre os componentes do relevo e a distribuição espacial da vegetação florestal na Serra do Caverá, na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, definindo o cálculo da razão de frequência (Fr) entre as unidades geomorfométricas e a ocorrência da vegetação florestal. A caracterização do relevo foi estabelecida através da compartimentação do mesmo em unidades geomorfométricas, que representa a morfologia das vertentes quanto aos elementos de altitude, declividade, perfil e plano de curvatura. As ocorrências florestais foram definidas através da classificação supervisionada de imagens de satélite LANDSAT 8, sensor OLI e corrigidas através de trabalhos de campo e das imagens do Google Earth Pro®. Após o cruzamento das unidades geomorfométricas e da vegetação florestal pode-se estabelecer a relação entre ambas e através do cálculo da razão de frequência definiu-se as unidades com maior contribuição para a ocorrência da vegetação florestal e possíveis áreas de expansão da mesma. A proposta do trabalho mostrou-se eficiente, uma vez que foi possível definir a correlação entre unidades específicas de relevo que contribuem para a dispersão da vegetação florestal na Serra do Caverá.

Palavras-chave: Dispersão florestal; Análise de relevo; Serra do Caverá; Razão de Frequência

ABSTRACT

As part of the phytogeography studies, the search for the correlation between the factors of the physical environment in the explanation for the development of certain types of vegetation, has become more and more frequent, mainly with the application of Geographic Information System (GIS), that allow, for example, to develop analyzes of the relief characteristics where forest occurrences are found. The present work seeks to analyze the relationship between the components of the relief and the spatial distribution of forest vegetation in Serra do Caverá, in the southwest region of the state of Rio Grande do Sul, defining the calculation of the frequency ratio (Fr) between the geomorphometric units and the occurrence of forest vegetation. The characterization of the relief was established by compartmentalizing it in geomorphometric units, that represent the slope morphology regarding the elements of altitude, slope, profile and curvature plane. Forest occurrences were defined through the supervised classification of LANDSAT 8 satellite images, OLI sensor and corrected through field work and Google Earth Pro® images. After crossing the geomorphometric units and the forest vegetation, the relationship between both can be established and by calculating the frequency ratio, the units with the greatest contribution to the occurrence of the forest vegetation and possible areas of its expansion were defined. The proposal of the work proved to be efficient, since it was possible to define correlation between specific units of relief that contribute to the dispersion of forest vegetation in Serra do Caverá.

Keywords: Forest dispersion; Relief analysis; Serra do Caverá; Frequency Ratio

1 INTRODUÇÃO

Buscar na correlação com os fatores do meio físico a explicação para a existência e o desenvolvimento de determinados tipos de vegetação é um dos objetivos da ciência fitogeográfica, que nas últimas décadas tem se utilizado de recursos tecnológicos para apoiar seus estudos, principalmente com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estas análises e correlações possibilitam entender com maior rapidez e precisão as formas de distribuição espacial de determinados elementos no meio.

Um dos fatores analisados quando se busca compreender essa dinâmica de distribuição da vegetação sobre determinado ambiente é o relevo, pois devido as suas irregularidades, atua na distribuição da água na superfície, promovendo ambientes de maior ou menor disponibilidade hídrica, bem como atua na luminosidade e insolação recebida pela vegetação que sobre ele se estabelece, além de promover o acúmulo de nutrientes químicos a partir da ação da água sobre sua superfície.

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), Bispo (2007), Bispo *et al* (2010), Guadagnin *et al* (2015) e Guadagnin e Trentin (2019). Uma das formas de estudar o relevo, a nível de vertentes, é através de sua compartimentação geomorfométrica, a partir da proposta de mapeamento geomorfométrico automatizado apresentada por Silveira e Silveira (2013), com base nos preceitos de Iwahashi e Pike (2007).

O uso de cálculos estatísticos em estudos de correlação de vegetação com fatores do meio físico vem apresentando bons resultados, como em estudo realizado por Villers-Ruiz *et al* (2003), que utilizaram análise multivariável, Análise de Componentes Principais (PCA) e técnica de ordenação Canônica de Correspondência (CCA) e também em Kawule (2007) utilizando MANOVA com medidas repetidas e Análise de Correspondência Múltipla (MCA). Em estudo mais recente, Bispo (2012) estabeleceu as relações através de análises de regressão (análise de correlação canônica e regressão múltipla).

O cálculo da razão de frequência (F_r) é uma ferramenta estatística importante para se trabalhar com diferentes variáveis independentes através de valores de probabilidade bivariada com base ponderada e, embora pouco utilizado para correlação entre vegetação e fatores do meio físico, é amplamente adotado para avaliação da suscetibilidade a escorregamentos (LI *et al*, 2017) e análises de riscos ambientais em geral.

Este trabalho busca demonstrar a relação existente entre os componentes do relevo e a distribuição da vegetação florestal nativa na Serra do Caverá, na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul através do cálculo da razão de frequência (F_r). A compartimentação do relevo da área de estudo foi realizada com base na geomorfometria, obtendo-se 12 unidades geomorfométricas, cujas informações foram cruzadas com o mapeamento da vegetação em ambiente SIG e posteriormente definido o cálculo da razão de frequência entre as unidades

geomorfométricas e a ocorrência da vegetação florestal. A correlação entre variáveis geomorfométricas e a vegetação, para compreensão de sua distribuição e composição, tem grande potencial de aplicação em estudos ecológicos e florestais (BISPO, 2012).

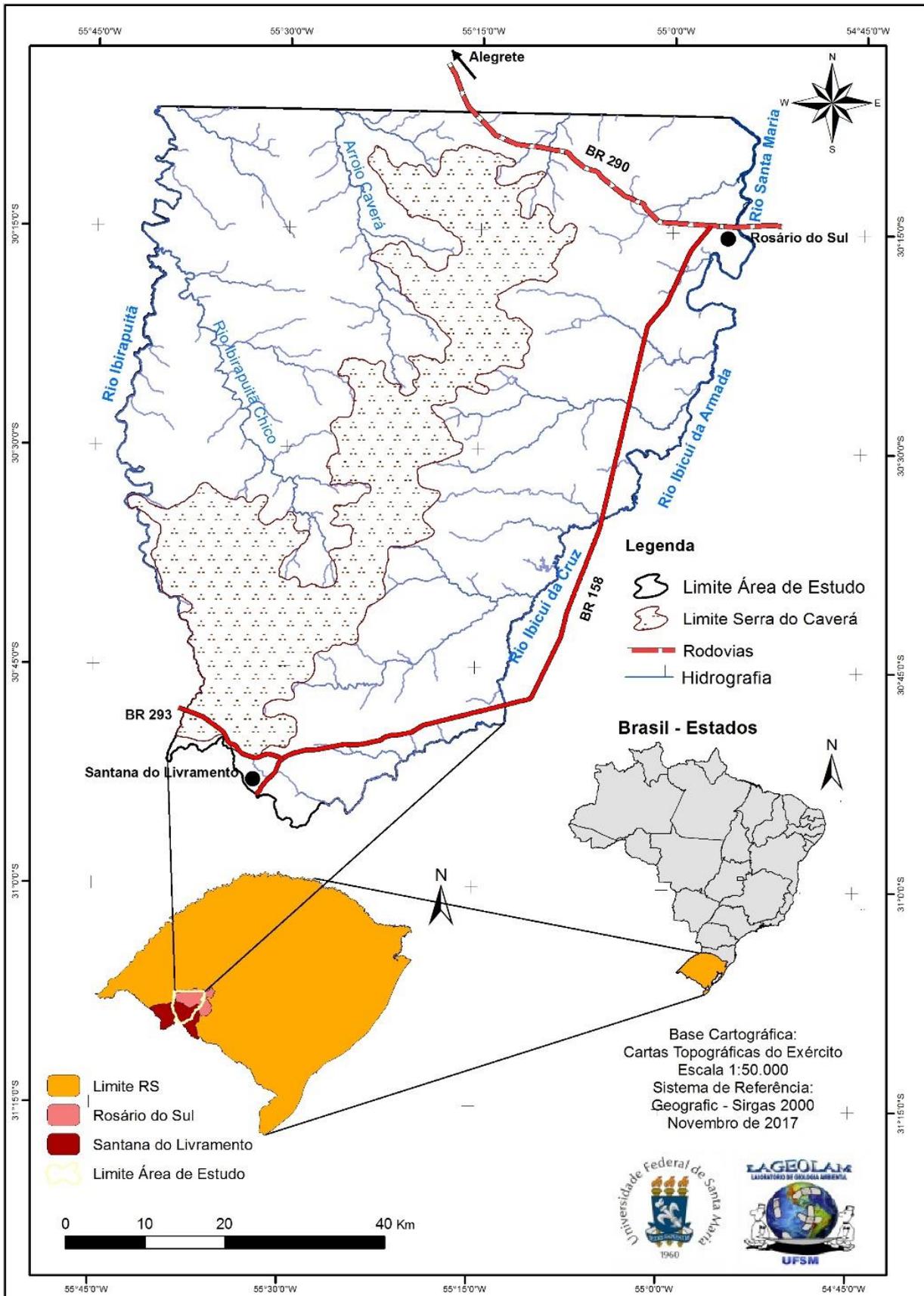
A Serra do Caverá está localizada na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul entre os municípios de Santana do Livramento e Rosário do Sul (Figura 1), possui uma área de 5.026 km² e apresenta como menor cota altimétrica o nível de 83 metros e a maior cota é de 371 metros, resultando em uma amplitude altimétrica de 288 metros.

De modo geral, o relevo na região oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul é formado, predominantemente, por colinas suavemente onduladas e planícies recobertas por vegetação campestre, composta por gramíneas e herbáceas, onde os morros e morrotes da Serra do Caverá constituem uma formação diferenciada que se destaca na paisagem regional.

A vegetação florestal nesta região, 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, favorecida pelo clima, expandindo as áreas onde a vegetação florestal pode ser observada. A Serra do Caverá é uma dessas áreas onde a vegetação florestal encontra-se bem estabelecida, dividindo espaço com a vegetação campestre.

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 mató" (MARCHIORI, 2004).

Figura 1 – Mapa de localização da Serra do Caverá



Fonte: Autores (2021)

Os dados sobre área de estudo como delimitação e caracterização dos aspectos físicos são apresentados em Guadagnin (2019) e Guadagnin e Trentin (2019).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A base digital para a análise do relevo, na definição das unidades geomorfométricas, teve como Modelo Digital de Elevação os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizado pelo United States Geological Survey (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2016) através dos produtos de HGT de reprocessamentos para remoção de erros relacionados a mascaras de água a pixel anômalos (USGS, 2020), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros). Apesar da disponibilidade de produtos com melhores resoluções espaciais, optou-se por este Modelo, visto que o mesmo teve melhor resultado na representação do relevo, apresentando menor erro, principalmente nas áreas de menores declividades, que são predominantes na área de estudo.

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, já a altitude média considerada para a área de estudo foi de 180 metros e a declividade de 5%, que corresponde ao limite entre áreas planas ou de baixa declividade, onde se registram processos

deposicionais e, a partir desta inclinação, os processos erosivos passam a ser significativos. A classificação utilizada pode ser observada na tabela 1.

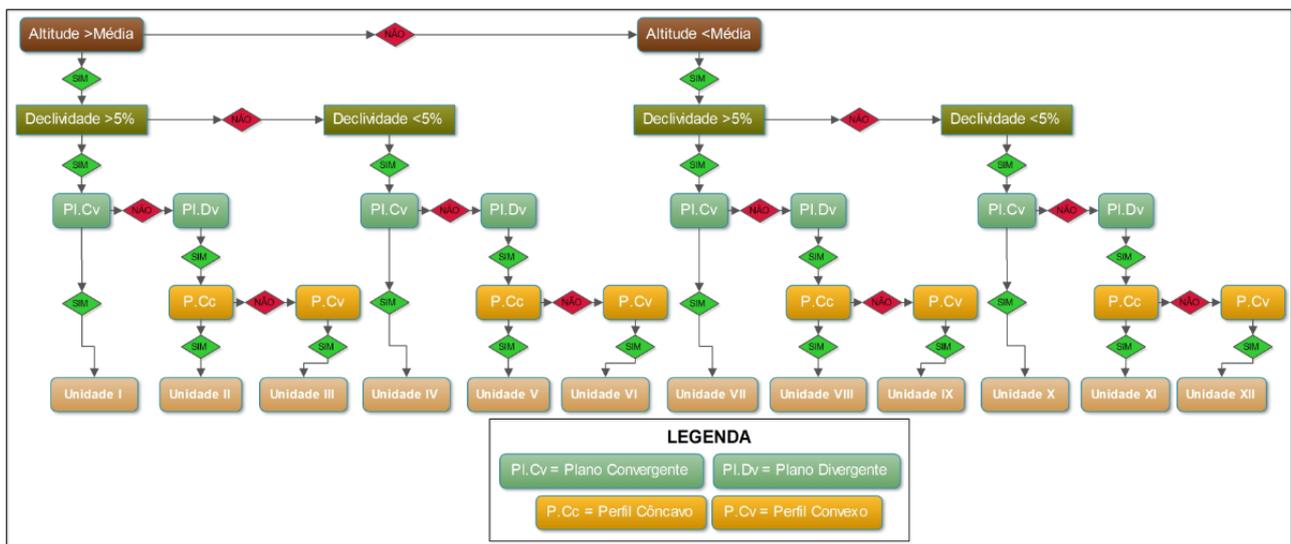
Tabela 1 – Classificação das informações básicas para a determinação das unidades geomorfométricas

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 2, foram identificadas 12 unidades geomorfométricas que representam a distribuição espacial das características.

Figura 2 – Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas



Fonte: Guadagnin e Trentin (2014)

A identificação da vegetação florestal na área de estudo foi realizada através de dois procedimentos. O primeiro procedimento foi realizado no SIG Arcmap 10.3®, com o uso da imagem do LANDSAT 8, sensor OLI de 24 de novembro de

2016, onde foi realizada a classificação supervisionada, utilizando algoritmo de verossimilhança com amostras previamente definidas, especificamente para o alvo vegetação florestal. Após esta classificação foi realizado o segundo procedimento através de arquivo vetorial exportado para o software Google Earth Pro® onde, com o auxílio de suas imagens de alta resolução espacial, foram corrigidos os erros da primeira etapa, tanto de omissão quanto de inclusão na referida classe.

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

A correlação entre a tipologia de vegetação florestal e as unidades geomorfométricas 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 componentes.

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

Em termos de valores relativos, a correlação entre a vegetação florestal e cada unidade geomorfométrica foi analisada usando a Razão de Frequência (F_r), um método estatístico bivariado, baseado na razão aritmética entre a área ocupada pela vegetação em cada unidade analisada e a área total da vegetação na área de estudo e também a razão entre a área de cada unidade e a área geomorfométrica total.

Os valores da F_r representam o nível de correlação entre a vegetação florestal e cada atributo do relevo a ser analisado. Portanto, para valores de F_r

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 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 das unidades geomorfométricas, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada unidade geomorfométrica analisada e A_i é a área ocupada por cada unidade geomorfométrica analisada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 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. Através destes parâmetros físicos, são definidas as características morfológicas das vertentes que são classificadas em unidades geomorfométricas.

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 2.

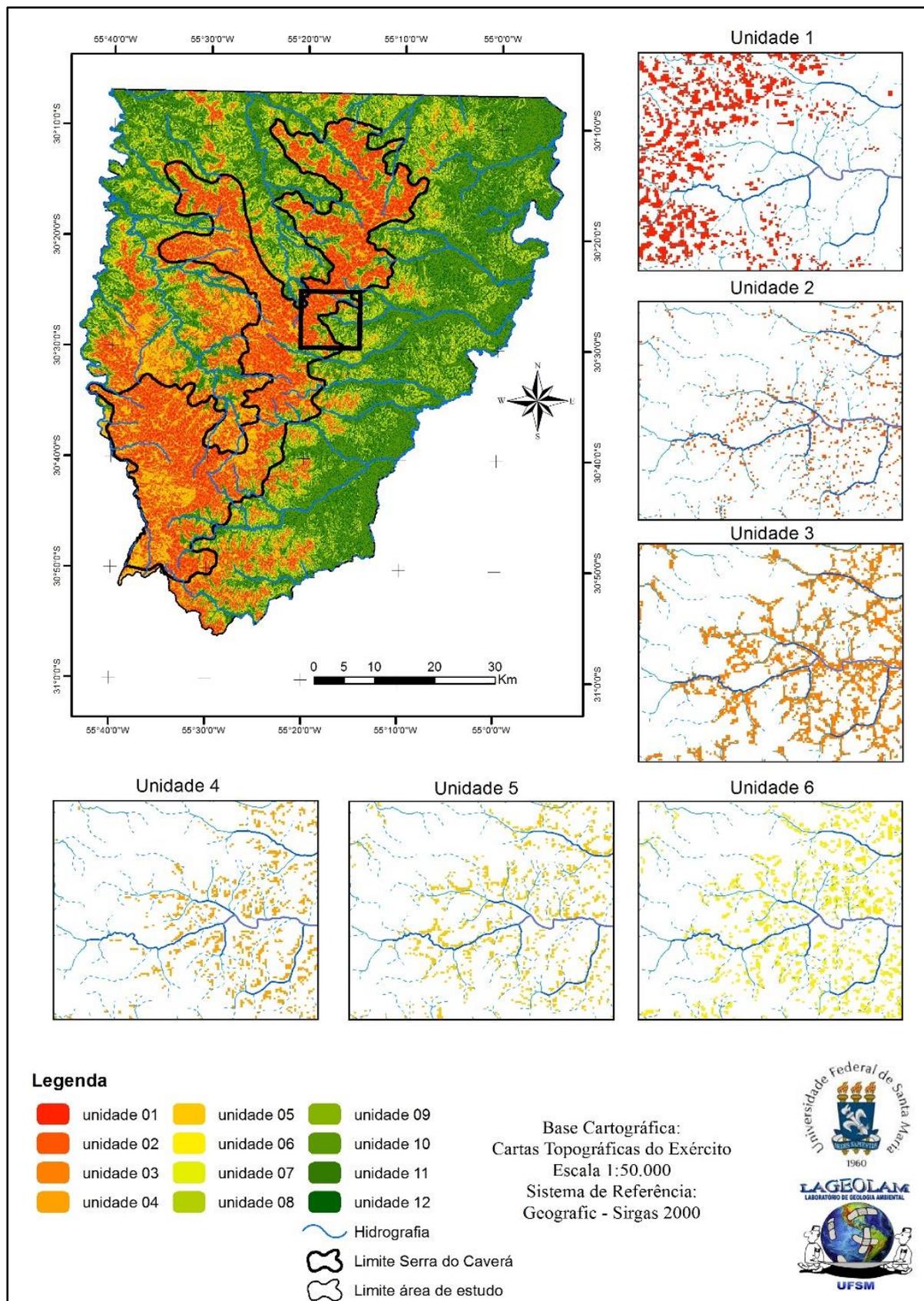
Tabela 2 – Áreas e respectivas porcentagens das unidades geomorfométricas da Serra do Caverá

Unidade Geomorfométrica	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: Autores (2021)

Os mapas com as unidades geomorfométricas da área de estudo são apresentados nas figuras 3 e 5.

Figura 3 – Mapa com as unidades geomorfométricas 1 a 6 da área de estudo.



Fonte: Autores (2021)

As unidades geomorfológicas 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 figura 4 caracteriza algumas dessas unidades com declividades mais acentuadas e formação de morros e morrotes, além de apresentar uma paisagem típica da área de estudo.

Figura 4 – Associação de morros e morrotes que constituem a Serra do Caverá.



Fonte: Autores (2017)

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

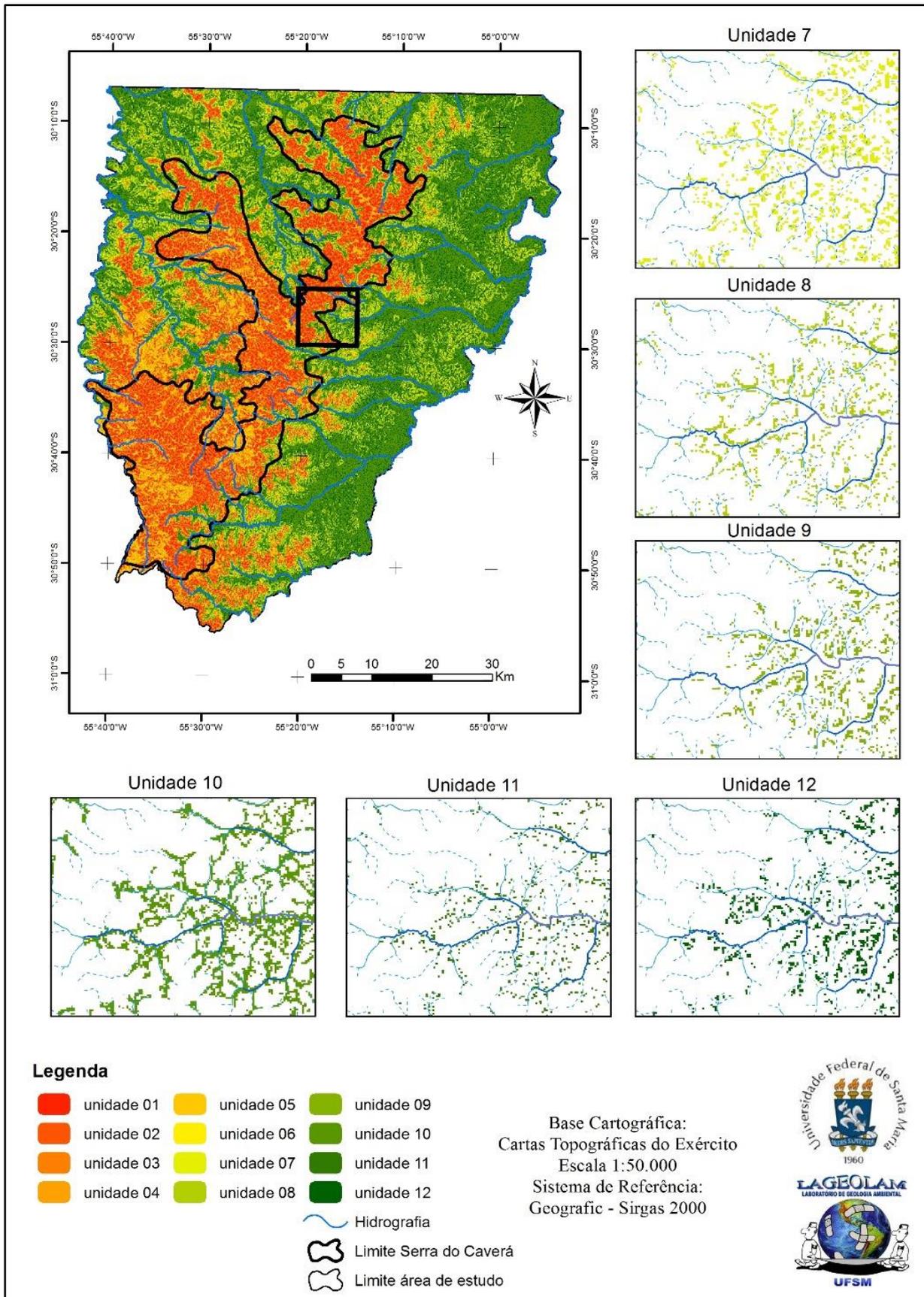
devido ao perfil côncavo e plano de curvatura divergente, o que faz com que a água seja dissipada com menor velocidade.

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 5 - Mapa com as unidades geomorfométricas 7 a 12 da área de estudo



Fonte: Autores (2021)

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 figura 6 ilustra algumas dessas unidades que formam as 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 6 – Áreas planas do quadrante leste da área de estudo, na porção nordeste da foto



Fonte: Autores (2017)

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).

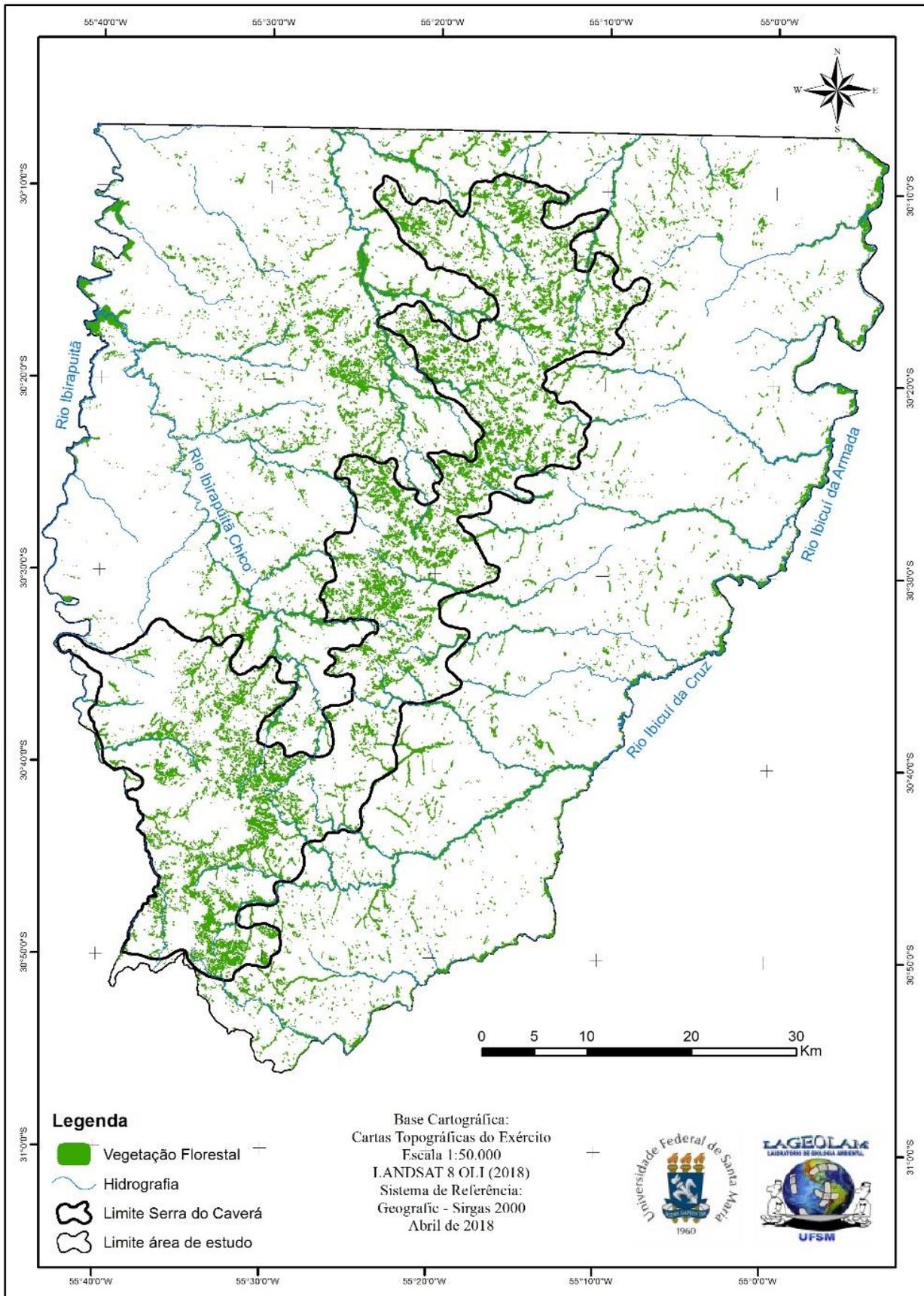
O predomínio das unidades 10 e 12, que ocupam juntas 37,96% do total da área de estudo, indica uma grande ocorrência de áreas com baixa altitude e relevos planos, principalmente devido à grande quantidade de canais de drenagem das bacias hidrográficas que formam a área de estudo. Já a unidade 1, que 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.

3.2 Análise da Vegetação Florestal

A vegetação natural na região sudoeste do Rio Grande do Sul, apresenta duas formações que se diferenciam por sua fisionomia, a campestre, que é predominante e característica do Pampa e a florestal, de ocorrência mais restrita. A vegetação florestal ocorrente na área de estudo abrange três tipologias, matas ciliares, capões-de-mato e matas de encosta, que se distinguem pela porção do relevo em que de ocorrem e pela composição florística, embora sua distinção a partir de imagens orbitais se torne dificultada pois em muitos pontos ambas se conectam.

Os aspectos da vegetação florestal na Serra do Caverá são apresentados e discutidos em Guadagnin (2019) e o mapa da vegetação é representado na figura 7.

Figura 7 – Mapa da distribuição da vegetação florestal na área de estudo



Fonte: Guadagnin e Trentin (2019)

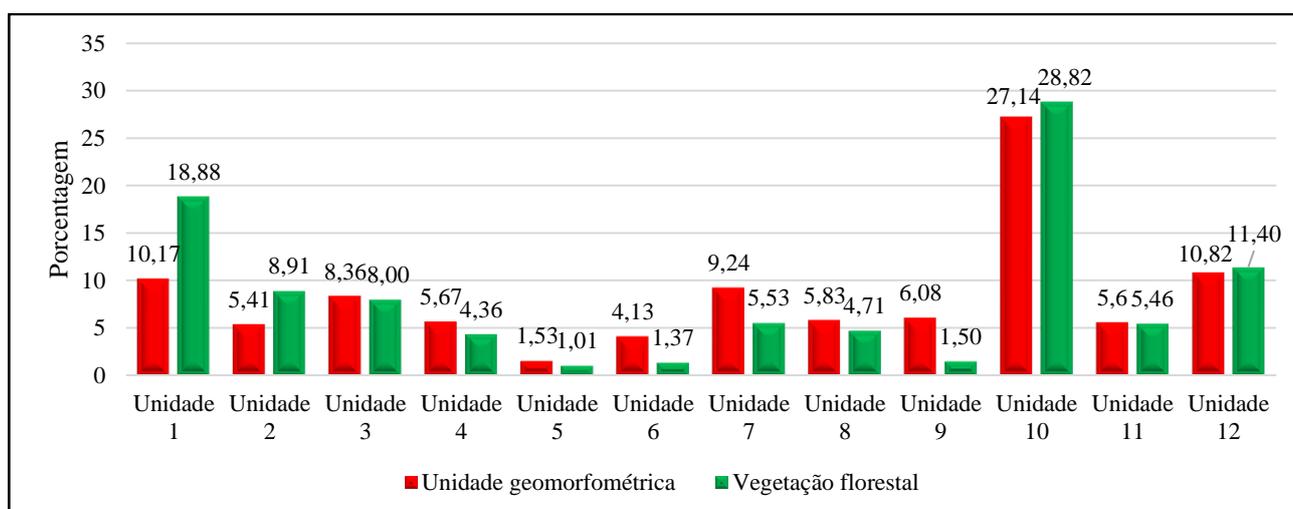
A vegetação florestal tem ocorrência significativa na região dos divisores de águas dos afluentes da área de estudo, bem como associada às suas nascentes e respectivos canais de drenagem.

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 vegetal, 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 figura 8.

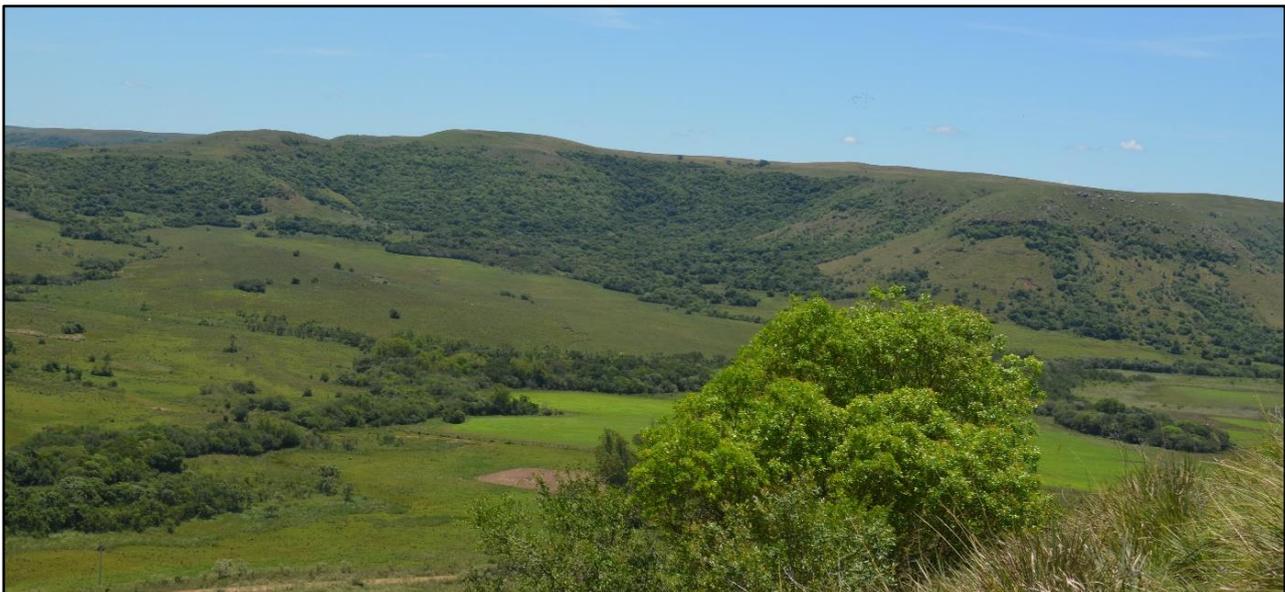
Figura 8 – Porcentagem de ocorrência das unidades geomorfométricas na área de estudo seguida da distribuição da vegetação florestal em cada unidade



Fonte: Autores (2021)

Pela análise do gráfico, 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 9).

Figura 9 – Vegetação florestal na mata ciliar e avançando na encosta pelas vertentes côncavas



Fonte: Autores (2021)

3.4 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,

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

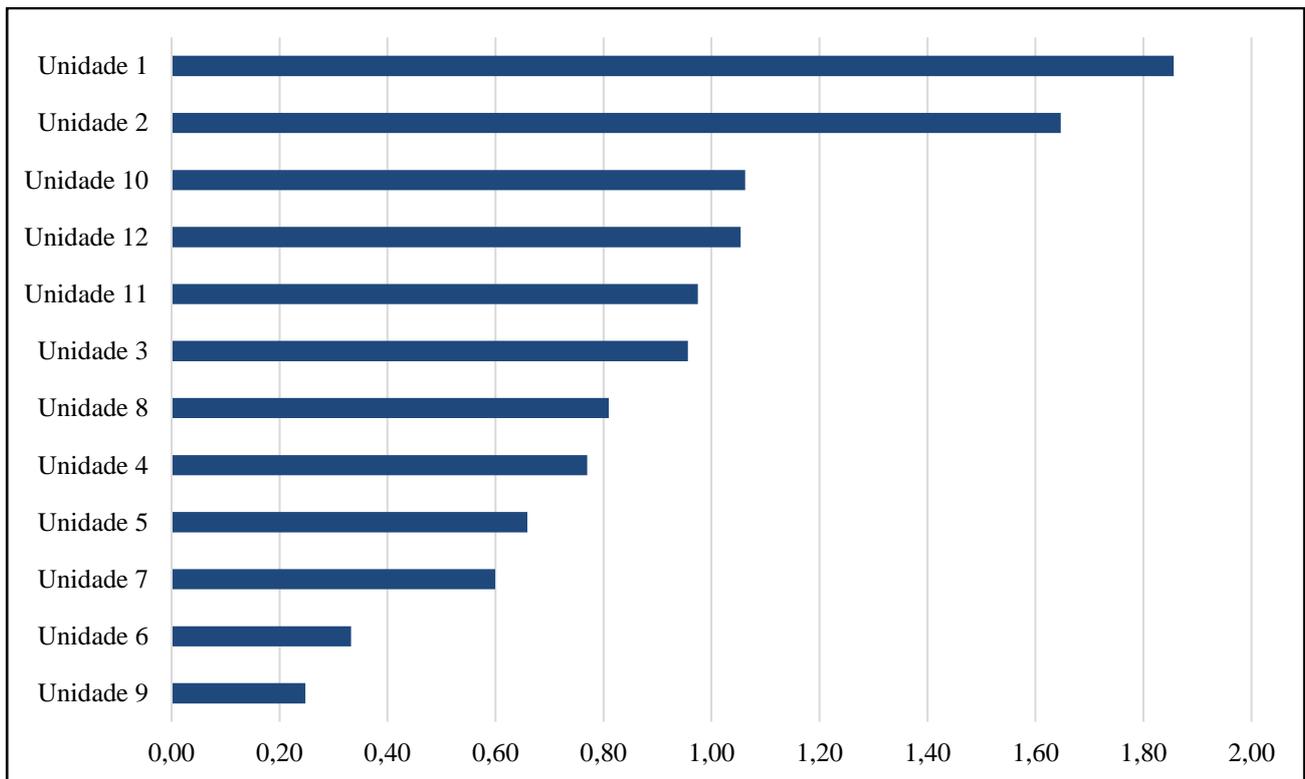
onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total das unidades geomorfométricas, V_i é a área ocupada pela vegetação em cada unidade geomorfométrica e A_i é a área ocupada por cada unidade geomorfométrica. Os resultados são apresentados na tabela 3 e também na figura 10.

Tabela 3 – Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas

Unidade Geomorfométrica	Área Km² (A_i)	Vegetação - área Km² (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: Autores (2021)

Figura 10 – Razão de frequência da vegetação florestal nas unidades geomorfométricas



Fonte: Autores (2021)

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.

Comparando esses resultados obtidos a partir de F_r com a relação em valores absolutos, percebe-se que, no segundo caso, os resultados podem não expressar a realidade, pois áreas maiores induzem a uma maior correlação, como por exemplo na unidade 10, que é a maior unidade da área de estudo e que apresentou a maior correlação absoluta, porém foi a terceira unidade com maior ocorrência de

vegetação florestal em valores relativos (F_r). 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. Tais correlações puderam ser verificadas e constatadas nos trabalhos de campo realizados na área de estudo.

Esse resultado vai ao encontro do que afirma Marchiori (2004), 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. E também em Veloso e Góes-Filho (1982) que 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 4), plano e perfil de curvatura de vertentes.

Tabela 4 – Porcentagem de ocorrência da vegetação florestal nas classes de declividade da área de estudo

Classe de declividade	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: Autores (2021)

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 5.

Tabela 5 - 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: Autores (2021)

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.

4 CONCLUSÃO

A compartimentação do relevo em unidades, baseada nas características das vertentes, através de análise digital, ou seja, geomorfométrica, é uma das técnicas utilizadas atualmente com considerável eficácia na modelagem do terreno em estudos de análise ambiental. Junto a isso, a proposta de utilização do cálculo de F_r para correlação entre essa compartimentação do relevo e a vegetação, na tentativa de compreender possíveis padrões para seu estabelecimento em determinado ambiente, mostrou-se profícua, na medida em que puderam ser observadas nítidas associações entre a vegetação florestal e determinadas unidades geomorfométricas.

Nesse estudo, os resultados apontaram uma maior frequência da vegetação florestal em quatro das 12 unidades, sendo elas 1, 2, 10 e 12, 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.

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 a relação da vegetação florestal com as unidades em função dos atributos topográficos analisados.

As associações encontradas nesse trabalho, representam porções do relevo prioritárias para a distribuição da vegetação florestal em relação aos campos na Serra do Caverá e reforçam a indicação de que o relevo é um dos principais fatores contribuintes nessa expansão, possivelmente pelo controle que exerce sobre a disponibilidade hídrica, acúmulo de nutrientes e insolação recebida pela vegetação. Embora duas tipologias de vegetação possam ocorrer em uma mesma unidade geomorfométrica, estes resultados apontam o predomínio da vegetação florestal em algumas unidades específicas e, a partir do conhecimento dos seus atributos, foi possível indicar as características das vertentes que dão maiores condições ao desenvolvimento da vegetação florestal na área de estudo.

O cálculo de razão de frequência utilizado permitiu uma análise mais eficiente, pois utilizando-se de valores relativos foi possível analisar com maior acuracidade a relação entre os fatores em estudo, o que não é possível quando se utilizam os valores absolutos, que tendem a mostrar maiores relações onde as áreas são maiores. Além disso, o cálculo de F_r é relativamente simples de ser aplicado e não necessita de um software específico, podendo ser facilmente executado em editor de planilhas. Os resultados obtidos através de F_r mostraram-se condizentes com a realidade observada em trabalhos de campo na área de estudo, demonstrando seu potencial de uso em estudos de correlação de vegetação e fatores do meio físico.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES, pelo recurso do Programa de Apoio à Pós-Graduação - PROAP.

REFERÊNCIAS

BISPO, P. C. **Dados Geomorfométricos como Subsídio ao Mapeamento da Vegetação.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – INPE. 2007.

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**, v. 24, n. 1, p. 96-103, 2010. DOI: 10.1590/S0102-33062010000100010

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.

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

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.

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. **Padrões de distribuição da vegetação florestal na Serra do Caverá – Sudoeste do Rio Grande do Sul/ Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

GUADAGNIN, P. M. A. *et al.* Relação entre as variáveis Geomorfométricas e a Vegetação Florestal na Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá - Oeste do RS. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 29, p. 246-261, 2015. DOI: 10.11606/rdg.v29i0.102131

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. DOI: 10.12957/geouerj.2014.10030

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. **Classificação do relevo com base nos elementos de Geomorphons e sua relação com a vegetação florestal nativa na Serra do Caverá - Sudoeste do RS, Brasil**. **GeoTextos**, vol. 15, n. 1, p. 231-252, julho 2019. DOI: 10.9771/geo.v15i1.30646

HUGGET, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1-22, 1975. DOI: 10.1016/0016-7061(75)90035-X

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. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.09.012

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.

LI, L.; LAN, H.; GUO, C.; ZHANG, Y. A modified frequency ratio method for landslide susceptibility assessment. **Landslides**, vol. 14, p. 727–741, 2017. DOI: 10.1007/s10346-016-0771-x

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

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

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.

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. DOI: 10.5380/rsa.v9i3.11517

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **USGS Global Visualization Viewer. Water-use**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <earthexplorer.usgs.gov>., 2016

USGS. **LP DAAC - NASADEM_HGT**. Disponível em: > https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001/ . Acesso em: 8 abr. 2020.

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.

Contribuições de Autoria

1 – Paula Mirela Almeida Guadagnin

Doutora em Geografia, Professora

<http://orcid.org/0000-0002-2901-0785> - g.paula.ma@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Administração do projeto, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 - Romario Trentin

Doutor em Geografia, Professor

<http://orcid.org/0000-0002-0615-2801> - romario.trentin@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Software, Supervisão, Escrita – primeira redação

Como citar este artigo

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R.. Relação da vegetação florestal com os componentes do relevo da Serra Do Caverá (Rio Grande Do Sul, Brasil) utilizando o cálculo da razão de frequência. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, e85, p. 01-30, 2021. DOI 10.5902/2179460X65082. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X65082>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.