

Paula Mirela Almeida Guadagnin

Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete - RS
g.paula.ma@gmail.com

Romario Trentin

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria
romario.trentin@gmail.com

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

Resumo

As formas e a 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, da disponibilidade hídrica, entre outros fatores, está diretamente relacionada à configuração do relevo de uma área. Este trabalho busca demonstrar a relação existente entre a configuração do relevo e a distribuição da vegetação florestal nativa na Serra do Caverá, na região sudoeste do Rio Grande do Sul. A classificação do relevo da área de estudo foi realizada com base nos *Geomorphons*, a partir do MDE oriundo dos dados SRTM, obtendo-se dez elementos de relevo. Após o mapeamento da vegetação, realizado com base na interpretação de imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, foi realizado o cruzamento das informações em ambiente SIG, com o *software* ArcGis 10.3, ferramenta ArcMap, e também através do cálculo da razão de frequência (Fr). A maior correlação observada foi com os elementos vales e áreas planas (42,52%), seguida da vegetação ocorrente em encostas, bases de encostas e relevos escavados, que juntos somaram 40,85% do total da vegetação florestal da área de estudo.

Palavras-chave: formas de relevo, *Geomorphons*, vegetação florestal.

Abstract

RELIEF CLASSIFICATION BASED ON THE ELEMENTS OF GEOMORPHONS AND THEIR RELATIONS WITH NATIVE FOREST VEGETATION IN THE SERRA DO CAVERÁ - SOUTHWEST OF RS, BRAZIL

The composition and the forms of the relief are factors that contribute in the determination of the occurrence and the types of vegetation of a certain place. The association of vegetation with certain environments due to the sunshine received, water availability, among others, are directly related to the configuration of the relief of an area. The objective of this work is to demonstrate the relations between the configuration of the relief and the distribution of the native forest vegetation in the Serra do Caverá, in the southwest region of Rio Grande do Sul. The relief classification of the study area was based on the Geomorphons, from the DEM generated through the SRTM data, obtaining ten elements. After the vegetation mapping was carried out based on the interpretation of images of the satellite LANDSAT 8 OLI, the information was cross-referenced in a GIS environment, with ArcGis 10.3 software, ArcMap tool, also by calculating the frequency ratio (Fr). The highest correlation observed was with the valleys and flat areas (42.52%), followed by vegetation on hillsides, slope bases and excavated reliefs, which together added up to 40.85% of the total forest vegetation in the study area.

Key-words: relief forms, Geomorphons, forest vegetation.

1. Introdução

O relevo representa as irregularidades da superfície terrestre, essas irregularidades, por sua vez, resultam da ação dos agentes modeladores do relevo, que podem ser tanto agentes internos, ou endógenos, como é o caso dos vulcões, abalos sísmicos, movimentos das placas tectônicas, como também agentes externos ou exógenos, como é o caso da chuva, dos rios, mares e da 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, pelo relevo e pelo embasamento geológico que, em suas múltiplas inter-relações, resultam em ambientes ecológicos bastante variados e se traduzem em diferentes paisagens (SANTANA; 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, da 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; Robaina; Marchiori (2010), Bispo (2007), Bispo; Valeriano; Kuplich (2010) e Guadagnin; Trentin; Alves (2015).

Uma das formas de classificação dos elementos do relevo, que vem sendo crescentemente utilizada, é a compartimentação a partir do uso dos *Geomorphons* (JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013). Como exemplos podem ser citados os trabalhos de Robaina; Trentin; Laurent (2016), Robaina et al. (2017) e Silveira et al. (2018), que empregam esta abordagem para classificação das formas de relevo.

Este trabalho busca demonstrar a relação existente entre a configuração do relevo e a distribuição da vegetação florestal na Serra do Caverá, na região sudoeste do Rio Grande do Sul. A classificação do relevo da área de estudo foi realizada com base nos *Geomorphons*, obtendo-se dez elementos de relevo; após o mapeamento da vegetação foi realizado o cruzamento das informações em ambiente SIG e também através do cálculo da razão de frequência (Fr).

2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros). Tratando-se de uma área de estudo de abrangência regional, a escala da base cartográfica dos dados SRTM de 90 metros são perfeitamente adequados às análises e aplicações.

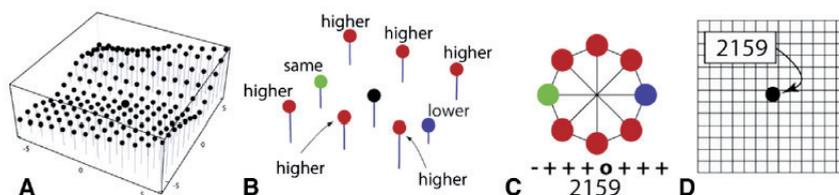
A compartimentação do relevo através do uso de *Geomorphons*, é embasada no trabalho de Robaina; Trenton; Laurent (2016) que segue a proposta de Jasiewicz; Stepinski (2013), cujos elementos são classificados de forma automatizada, a partir do MDE, em aplicativo disponível *online*,

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-se a variação dos níveis de cinza entre a célula central e as células vizinhas, de modo que, se a célula central for mais elevada, a vizinha assume valor de “1”, se for igual, assume valor “0” e, se for mais baixa, assume valor de “-1”, conforme representação na figura 1.

A figura 1 demonstra a aplicação da proposta de Jasiewicz; 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 para mostrar o padrão estudado.

Figura 1
REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS*.



Fonte: Jasiewicz; Stepinski (2013)

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 à 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 Modelo Digital de Elevação.

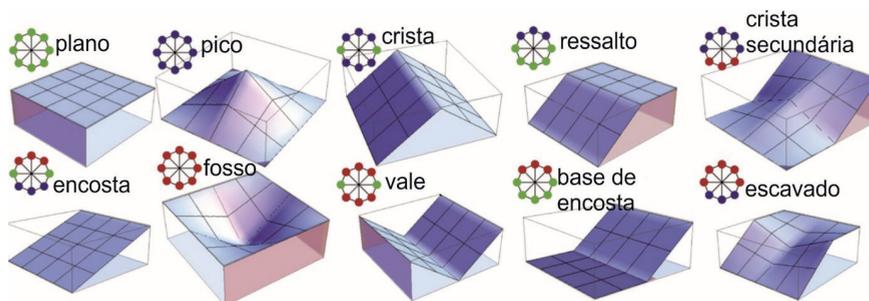
A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é um MDE. Os dois parâmetros livres são *lookup* “L” (distância em metros ou unidades

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 2.

A análise e diferenciação da vegetação florestal na área de estudo foi realizada a partir da interpretação de imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, associadas às imagens de alta resolução espacial obtidas através do *Google Earth Pro*, com o uso do software ArcGis 10.3, ferramenta ArcMap, para elaboração do mapa de vegetação florestal; em uma primeira análise realizou-se a classificação supervisionada da imagem LANDSAT direcionada à vegetação florestal, posteriormente, sobre a imagem do *Google Earth* ajustou-se os limites das áreas ocupadas com a vegetação florestal.

Figura 2
PRINCIPAIS GEOMORPHONS RECONHECIDOS NA ANÁLISE DO RELEVO



Fonte: Modificado de Jasiewicz; Stepinski (2013).

O cruzamento espacial dos elementos de *Geomorphons* e do mapa de vegetação em ambiente SIG possibilitou a análise espacial e quantitativa da relação existente entre os elementos do relevo e a presença da vegetação florestal.

Em termos de valores relativos, a correlação entre a vegetação florestal e cada elemento de *Geomorphon* foi analisada usando um método estatístico bivariado, baseado na razão aritmética entre a área ocupada pela vegetação em cada elemento analisado e a área total da vegetação na área de estudo e também a razão entre a área de cada elemento e a área total dos *Geomorphons*.

Os valores da razão de frequência (Fr) 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 Fr menores que 1 indicam uma baixa correlação (ESPER ANGLIERI, 2013). A razão de frequência (Fr) pode ser calculada de acordo com a equação (adaptada de BONHAM-CARTER, 1994):

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

Onde, V é a área total de vegetação florestal, A é a área total dos *Geomorphons*, Vi é a área ocupada pela vegetação em cada elemento de *Geomorphon* analisado e Ai é a área ocupada por cada elemento de *Geomorphon* analisado.

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 a esta unidade não possuir limites pré-estabelecidos, optou-se por defini-la utilizando-se a curva de nível de 180 metros como guia para delimitar a Serra do Caverá, desse modo, incluindo a maior parte das formações de morros e morrotes.

3. Resultados e Discussão

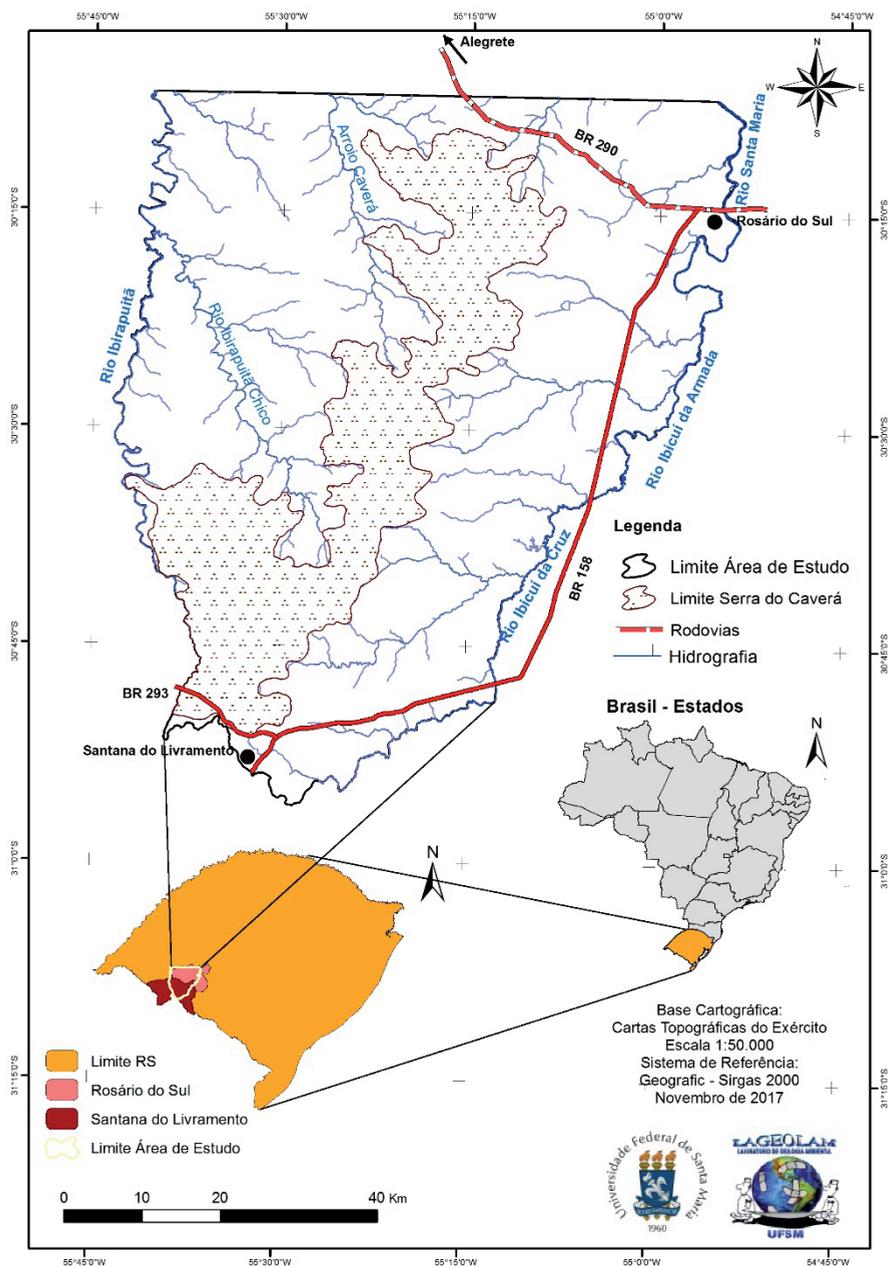
A área de estudo está localizada na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Santana do Livramento, a sul, e Rosário do Sul, a leste (figura 3); possui uma área de 5.026 km² e apresenta como menor cota altimétrica o nível de 83 metros, nas planícies de inundação dos rios que a delimitam; a maior cota é de 371 metros, nos morros que constituem a Serra do Caverá, resultando em uma amplitude altimétrica de 288 metros.

A Serra do Caverá constitui-se no divisor de águas de alguns corpos hídricos, sendo eles, a leste, o rio Ibirapuitã e seus principais afluentes de margem direita, o rio Ibirapuitã Chico e arroio Caverá, e, a oeste, 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.

As declividades predominantes na área de estudo são as de 5 a 15%, que 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%; 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 altitude e declividade mais elevadas, tornam-se menos favoráveis ao uso do solo, não só pelos fatores geomorfológicos como também litológicos e pedológicos. É significativa, também, a ocorrência de declividades entre 2 e 5%, bem como menores que 2%; 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.

Segundo Rossatto (2011), a variação da temperatura média anual, para a região onde encontra-se a Serra do Caverá, 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 oscilando entre 23°C a 29°C. As chuvas oscilam entre 1400 a 1700 mm anuais, concentrando-se em 6 a 9 dias ao mês.

Figura 3
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA SERRA DO CAVERÁ



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 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.

A identificação dos elementos do relevo da área de estudo, a partir dos *Geomorphons*, está representada na figura 4.

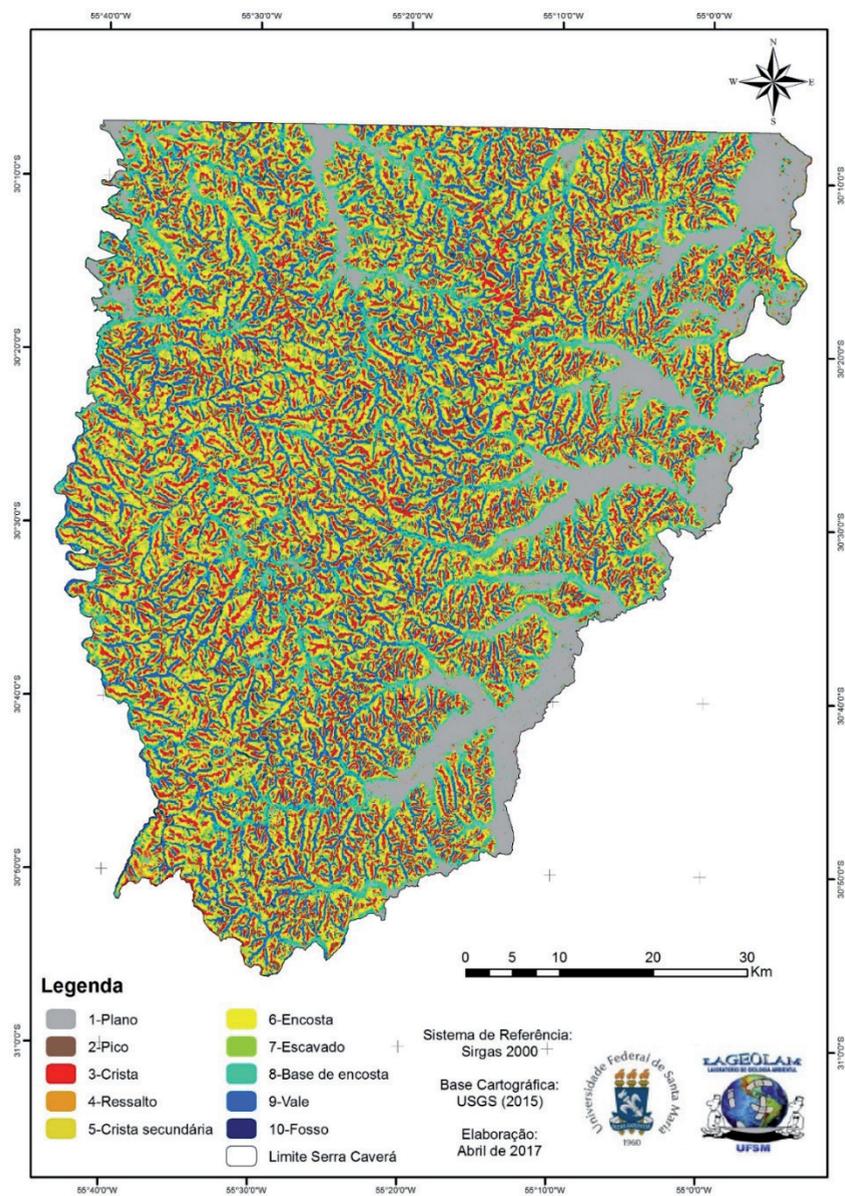
Esses elementos ocorrem em toda a área de estudo, sendo alguns de forma mais concentrada, como o elemento plano, que ocupa as planícies de inundação dos principais cursos de água e os vales que se associam aos canais de drenagem mais encaixados no relevo. Porém, em sua maioria, os elementos ocorrem de forma mais fragmentada, visto que representam porções da vertente e, por vezes, associados a outros elementos, compondo a vertente, como as encostas, geralmente ocorrendo 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 se distribuam em grande parte da área de estudo, apresentam certa concentração no topo dos morros e morrotes da Serra do Caverá.

Pode-se observar no mapa, também, a significativa ocorrência do elemento encosta associado 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.

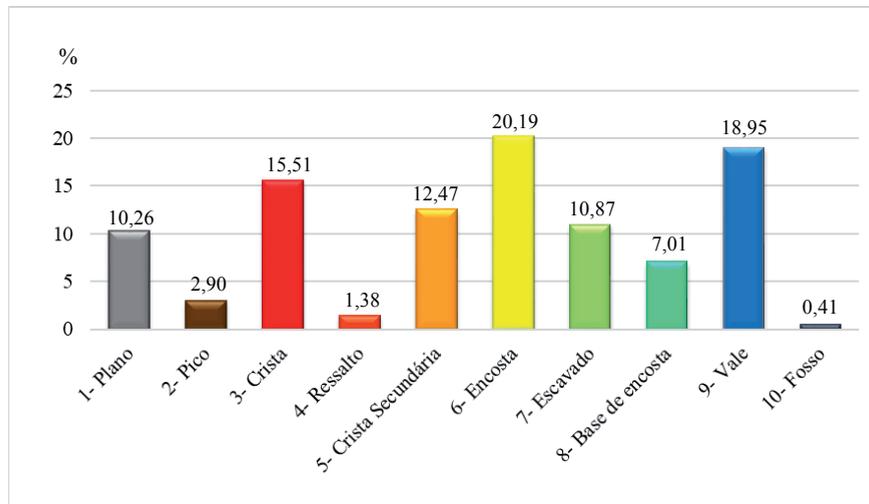
A porcentagem de ocorrência de cada um dos elementos pode ser melhor visualizada na figura 5.

Figura 4
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS GEOMORPHONS NA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5
PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS* NA ÁREA DE ESTUDO



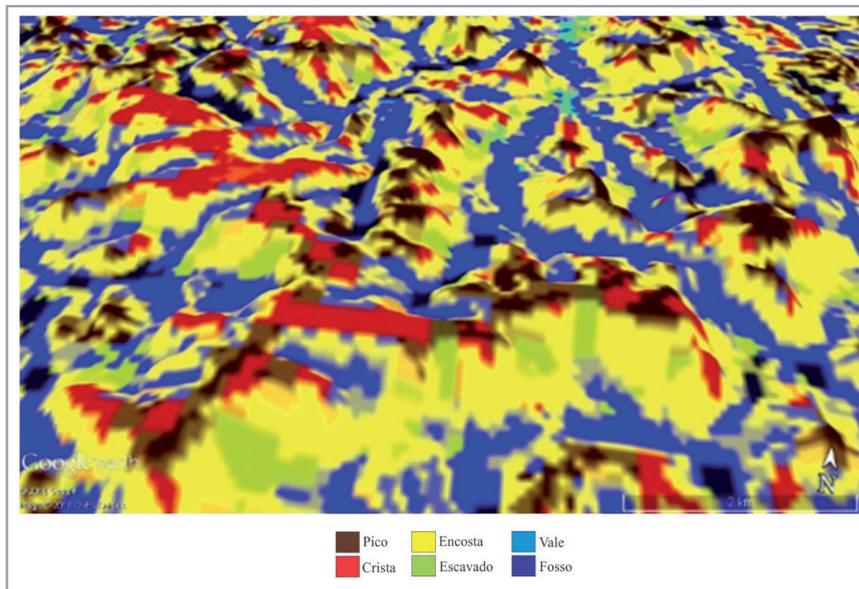
Fonte: Elaborado pelos autores.

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, ressaltos 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 figura 6, com visada de em torno 45° de inclinação.

Na figura 6, 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).

Figura 6
REPRESENTAÇÃO DO *GOOGLE EARTH* COM VISADA EM TORNO DE 45° DE INCLINAÇÃO E SOBREPÓSICÃO DOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS*



Fonte: Imagem *Google Earth*, modificada pelos autores.

3.2 Análise da Vegetação

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 ao 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 à disponibilidade hídrica, mas a outros fatores, como configuração das vertentes e contatos rochosos. 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 a distribuição da vegetação florestal na área de estudo é apresentada na figura 7.

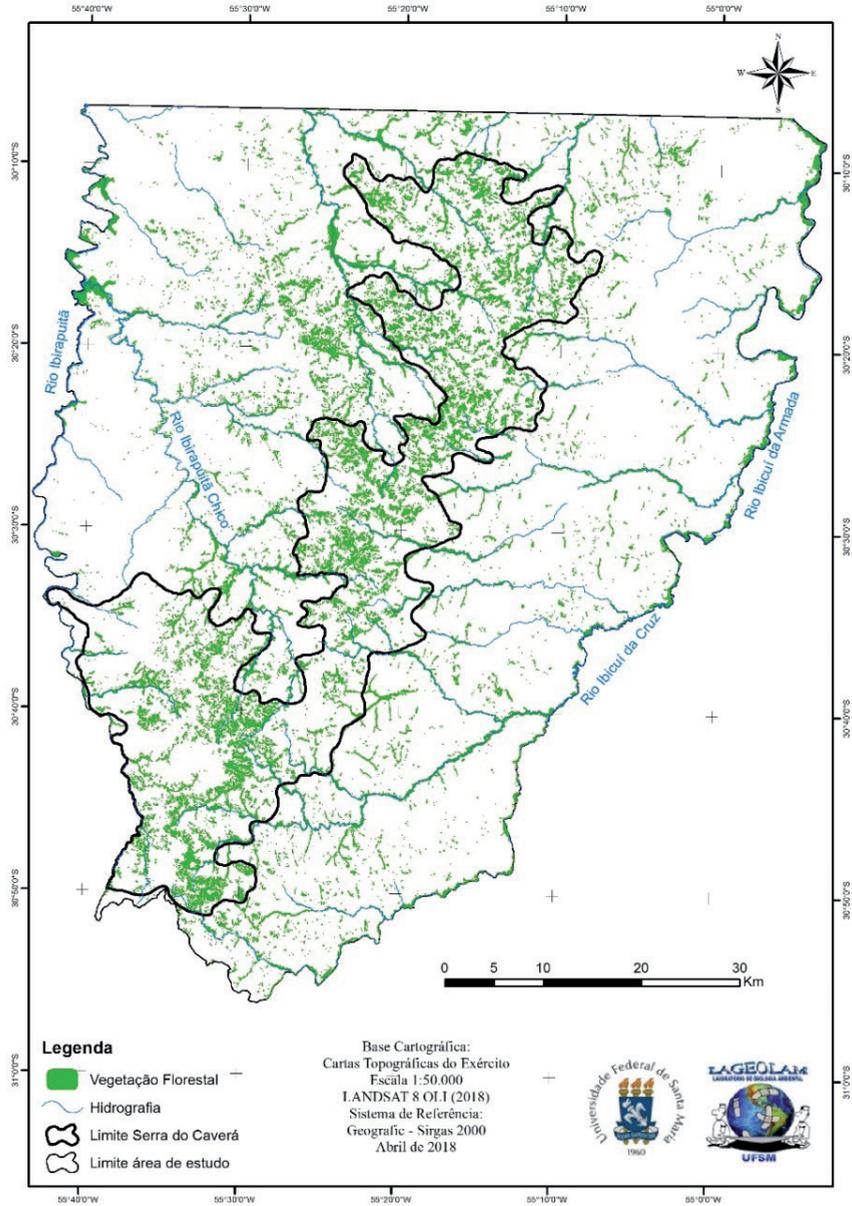
Pode-se observar, a partir da análise do mapa da vegetação florestal, que esta distribui-se ao longo da área de estudo, principalmente associada às nascentes e seus respectivos cursos d'água. Sua ocorrência é significativa nos divisores de águas dos principais afluentes da área, representados na figura 7.

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

Ao se analisar a sobreposição da vegetação florestal nos elementos de *Geomorphons*, é possível identificar algumas associações, como a predominância da vegetação nos vales, nas encostas e áreas planas, respectivamente (figura 8).

É possível explicar essa associação aos elementos de vales e áreas planas (42,52%), principalmente, por estes estarem associados a 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 esta vegetação constitui-se de matas ciliares, que ocorrem principalmente associadas aos cursos d'água.

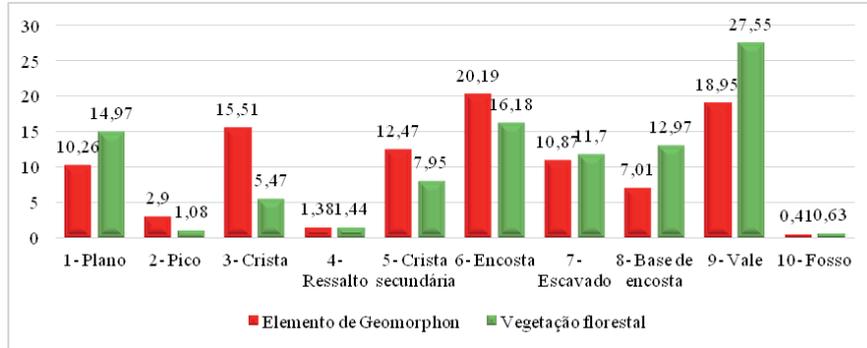
Figura 7
MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8

PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS* NA ÁREA DE ESTUDO SEGUIDA DA DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO FLORESTAL EM CADA ELEMENTO



Fonte: Elaborado pelos autores.

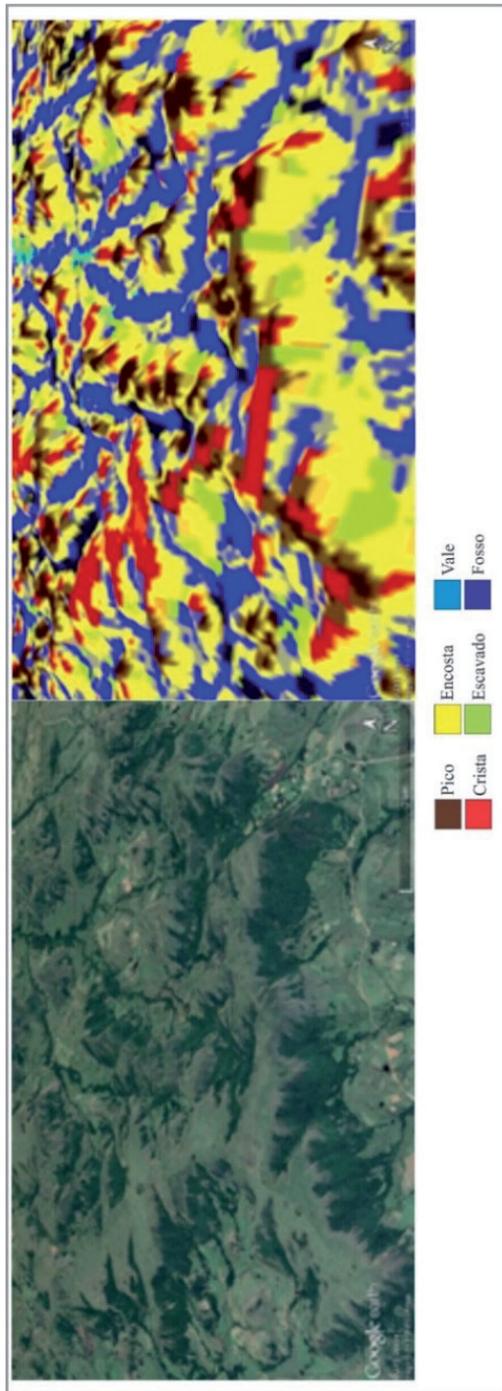
Quanto à vegetação que ocorre em encostas, bases de encostas e relevos escavados, que, juntas, somam 40,85% do total da vegetação florestal da Serra do Caverá, pressupõe-se que essa consiste na vegetação que avança, a partir das matas ciliares, através dessas formas de relevo, para as demais áreas da Serra do Caverá, onde a água não se encontra de forma disponível diretamente; porém, outros elementos contribuem para esta dispersão, como as concavidades do relevo escavado, por exemplo, avançando, dessa maneira, 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, as 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 9, que mostram a posição que cada elemento ocupa na vertente, bem como onde há presença de vegetação florestal.

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

Figura 9 REPRESENTAÇÃO DO GOOGLE EARTH COM VISADA EM TORNO DE 45° DE INCLINAÇÃO, AO LADO A MESMA VISADA COM SOBREPÓSICÃO DOS ELEMENTOS DE GEOMORPHONS



Fonte: Imagem *Google Earth*, modificada pelos autores.

3.4 Razão de frequência de vegetação florestal nos elementos de *Geomorphons*

Em termos de valores relativos, a correlação entre a vegetação florestal e cada elemento de *Geomorphon* foi analisada usando o cálculo da razão de frequência (Fr) e seus resultados são apresentados na tabela 1 e na figura 10.

Tabela 1
RAZÃO DE FREQUÊNCIA DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS*

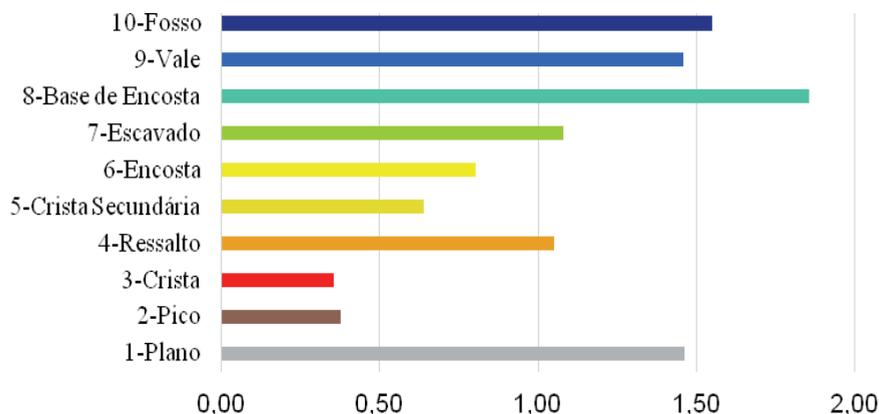
Elemento de <i>Geomorphon</i>	Área Km ² (Ai)	Vegetação - área Km ² (Vi)	Razão de Frequência Fr
1-Plano	516,05	37,80	1,46
2-Pico	146,20	2,74	0,37
3-Crista	779,80	13,81	0,35
4-Ressalto	69,52	3,65	1,05
5-Crista Secundária	627,15	20,08	0,64
6-Encosta	1015,10	40,84	0,80
7-Escavado	546,45	29,55	1,08
8-Base 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 pelos autores.

A partir da análise dos resultados percebe-se que a vegetação florestal ocorre com frequência em seis dos dez elementos (figura 11), demonstrando grande correlação com as bases de encostas (Fr = 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 (Fr = 1,54), plano (Fr = 1,46) e vale (Fr = 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 (Fr = 1,08), e, também, associando-se a eventuais contatos ou afloramentos rochosos, como as cornijas, no elemento ressalto

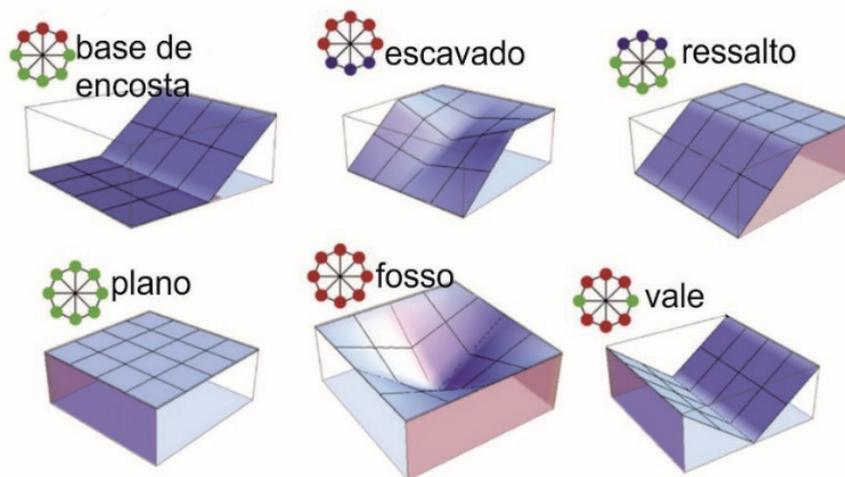
(Fr = 1,05) (figura 12). Em todos esses elementos de *Geomorphons* a vegetação florestal apresenta alta correlação de frequência, com valores de Fr superiores a 1.

Figura 10
RAZÃO DE FREQUÊNCIA DA VEGETAÇÃO FLORESTAL NOS ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS*



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11
ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS* CUJA VEGETAÇÃO APRESENTA ALTA CORRELAÇÃO



Fonte: Modificado de Jasiewicz; Stepinski (2013).

Figura 12

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 ($Fr = 0,37$) e crista ($Fr = 0,35$), 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.

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 têm maior facilidade de penetração. Após o crescimento, o sombreamento proporcionado prejudica o desenvolvimento das gramíneas circundantes, favorecendo o estabelecimento de novas árvores e arbustos. Deste modo, 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. Considerações Finais

A compartimentação do relevo através dos *Geomorphons* e a identificação de seus elementos é uma técnica bastante eficiente para modelagem do relevo e a análise ambiental. Cabe destacar que esta forma de análise de relevo não se propõe a representar unidades de relevo, mas sim os principais elementos do modelado do relevo e estes, na maioria das vezes, são os condicionantes da concentração de umidade, do escoamento superficial, e dos demais processos de dinâmica superficial.

A utilização dos *Geomorphons* para classificação do relevo e a relação de seus elementos com a vegetação florestal, mostrou-se uma possibilidade considerável de análise do ambiente natural e das interações entre seus fatores.

Na Serra do Caverá, houve uma expressiva relação da vegetação florestal com os elementos vales, encostas e áreas planas, contribuindo para a compreensão de que esta tipologia de vegetação se associa principalmente a áreas com disponibilidade hídrica, a partir de onde estende-se sobre encostas e áreas mais íngremes do relevo, avanço este evidenciado pela correlação com os elementos base de encosta, escavados e cristas secundárias.

Quanto aos resultados obtidos através da análise da razão de frequência, os mesmos 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. A partir desse resultado, pode-se inferir algumas preferências do estabelecimento da vegetação, que, apesar de ocorrer com maior frequência nas bases de encosta, ainda é bastante associada a áreas com possível disponibilidade hídrica, como fosso, plano e vale, possivelmente caracterizando-se como vegetação ciliar, de onde avança para as bases de encosta, através dos elementos escavados, 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.

As associações encontradas nesse trabalho representam áreas prioritárias para a distribuição da vegetação florestal em relação aos campos na área de estudo e reforçam a indicação de que o relevo é um dos principais fatores contribuintes nessa expansão.

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

- ALVES, F. S.; ROBAINA, L. E. S.; MARCHIORI, J. N. C. Fitogeografia da bacia hidrográfica do arroio Lageado Grande – Oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 3, p. 605- 622, set./dez. 2010.
- BISPO, P. C. **Dados Geomorfométricos como Subsídio ao Mapeamento da Vegetação**. 2007. 120f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 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.
- 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.
- GUADAGNIN, P.; TRENTIN, R.; ALVES, F. 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.

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

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

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul**: variabilidades, tendências e tipologia. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) - UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011.

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 Automatizada. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v. 17, n. 2, p. 287-298, 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.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó-RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.

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**, v. 19, n. 1, p. 33-57, 2018.

Recebido em: 15/04/2019

Aceito em: 27/04/2019