

## Dossiê Parque Estadual do Turvo (PET) - Yucumã

# Análise dos elementos geomorfológicos no Parque Estadual do Turvo – Rio Grande do Sul – Brasil

Analysis of geomorphological elements in the Parque Estadual do Turvo  
– Rio Grande do Sul – Brazil

Analyse des éléments géomorphologiques dans le Parque Estadual do  
Turvo – Rio Grande do Sul – Brésil

Romário Trentin<sup>I</sup> , Luís Eduardo de Souza Robaina<sup>II</sup> ,  
Fábio Marcelo Breunig<sup>II</sup> 

<sup>I</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

<sup>II</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil

## RESUMO

O entendimento integral de um ecossistema terrestre demanda conhecimentos apurados sobre as formas de relevo. Considerando o conceito sintético que a abordagem de *geomorphons* produz, foi definido o objetivo desta pesquisa. O trabalho visa realizar uma caracterização das formas de relevo (*geomorphons*) no Parque Estadual do Turvo, no noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Para tal, foram utilizados os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) "SRTM Plus". Inicialmente, foram conduzidas análises geomorfológicas sobre a elevação, declividade, curvaturas e orientação. Na sequência, foram determinados os *geomorphons* (*r.geomorphons*). Ainda, foram direcionados os estudos de unidades de relevo, utilizando perfis topográficos. Os resultados mostraram uma grande amplitude altimétrica predominância das associações de morros com presenças de linhas de escarpas. Nas regiões mais elevadas tendem a ocorrer em áreas de colinas. Em relação aos *geomorphons*, verificou-se a predominância do elemento encosta, representado pelas vertentes com inclinações fortes, de curvatura côncava-divergentes nas associações de morros. Quanto aos elementos de relevo, foram identificados sete tipos: Pico, Crista, Crista Secundária, Encosta, Fosso, Vale e Concavidade.

**Palavras-chave:** *Geomorphons*; Relevo; Modelagem

## ABSTRACT

The whole understanding of a terrestrial ecosystem requires a refined knowledge of the landforms. Considering the synthetic concept that the *geomorphons* approach produces, the objective of this

research was defined. The aim was to characterize the landforms (geomorphons) in the Parque Estadual do Turvo, in the northwest of Rio Grande do Sul State, Brazil. Therefore, data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) "SRTM Plus" was used. Initially, geomorphological analyses were conducted on elevation, slope, curvatures, and orientation. In the sequence, geomorphons (r.geomorphons) were determined, and inspections of relief units were conducted using topographic profiles. The results showed a great altimetric amplitude, a predominance of associations between hills, and the presence of scarp lines. In the higher regions, there tend to be areas of hills and gentle relief. In relation to geomorphons, there was a predominance of the slope element, represented by the slopes with strong inclinations, of concave-divergent curvature in the associations of hills. As for the relief elements, seven types were identified: Peak, Crest, Secondary Crest, Slope, Ditch, Valley, and Concavity.

**Keywords:** Geomorphons; Relief; Modelling

### RESUMEN

Toute compréhension d'un écosystème terrestre nécessite une connaissance fine des reliefs. Compte tenu du concept synthétique que produit l'approche des géomorphons, l'objectif de cette recherche a été défini. L'objectif était de caractériser les reliefs (géomorphons) du Parque Estadual do Turvo, au nord-ouest de l'État du Rio Grande do Sul, au Brésil. Par conséquent, les données de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) "SRTM Plus" ont été utilisées. Dans un premier temps, des analyses géomorphologiques ont été menées sur l'élévation, la pente, les courbures et l'orientation. Dans la séquence, des géomorphons (r.geomorphons) ont été déterminés et des inspections d'unités de relief ont été effectuées à l'aide de profils topographiques. Les résultats ont montré une grande prédominance en amplitude altimétrique des associations de collines avec la présence de lignes d'escarpement. Dans les régions les plus élevées ont tendance à se produire des zones de collines et de reliefs doux. Par rapport aux géomorphons, il y avait une prédominance de l'élément de pente, représenté par les pentes à fortes inclinaisons, de courbure concave-divergente dans les associations de collines. Quant aux éléments de relief, sept types ont été identifiés: Pic, Crête, Crête secondaire, Pente, Fossé, Vallée et Concavité.

**Palabras-clave:** Géomorphons; Relief; La modélisation

## 1 INTRODUÇÃO

A identificação, discriminação e análise dos parâmetros do relevo que caracterizam a paisagem são fundamentais para a compreensão do ecossistema biológico local, características dos solos e agronômicas (Silva *et al.*, 2016; Atkinson; Clercq; Rozanov, 2020), avaliação da dinâmica pedo-hidrológica, e entendimento dos padrões dinâmicos em nível de bacias (Van Zijl; Le Roux, 2014; Holmes; Grab; Knight, 2016).

O crescimento das aplicações de modelagens quantitativas, combinado aos algoritmos computacionais e ao espaço-temporais, têm revolucionado o mapeamento de feições e padrões de relevo com uso de sistemas de informações geográficas (SIGs) e modelos digitais de elevação (DEM). As técnicas geomorfométricas buscam identificar elementos de relevo através da discriminação de padrões e detecção de mudanças que se assemelham no domínio espacial, para descrever ou caracterizar as formas de relevo de uma determinada área. Essas ferramentas aplicam algoritmos de inteligência computacional, ancoradas em parâmetros previamente definidos para identificar parâmetros descritivos dos objetos em análise, e, assim, apresentar sua distribuição espacial. É considerada, porém, que a definição adequada dos parâmetros de controle dos algoritmos computacionais é um problema desafiador e, mesmo baseado em padrões bastante conhecidos, demanda de certo conhecimento do pesquisador sobre sua aplicação a fim de adequações e ajustes para cada área de estudo.

Diversos são os autores que tem empregado as técnicas de identificação dos elementos e formas de relevo de forma automatizada com emprego de algoritmos computacionais (Nowosad, 2021; Ashtekar, *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016; Robaina *et al.*, 2017; Silveira *et al.*, 2018). Contudo, as abordagens focadas no Parque Estadual do Turvo são incipientes e em geral não exploram as feições geomorfológicas em detalhe (Gaida *et al.*, 2016; Galão *et al.*, 2015). Assim, uma caracterização dos *geomorphons* do Parque Estadual do Turvo representa uma etapa importante para o entendimento da dinâmica biológica, hidrológica e pedológica da região. Conforme a descrição da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado, (SEMA, 2021) o Parque Estadual do Turvo:

Foi criado inicialmente como Reserva Florestal Estadual, no ano de 1947, passou a categoria de Parque Estadual no ano de 1954. Sua área concentra um dos maiores fragmentos da Floresta Estacional decidual do Estado. O salto do Yucumã é um atrativo especial, com 1.800 metros de extensão e quedas d'água com até 12 metros de altura seguindo o curso do Rio Uruguai na divisa entre o Brasil e a Argentina, o salto foi formado devido a uma falha geológica que varia de 90 a 120 metros de profundidade. O "Grande Roncador", na língua tupi-guarani, o Salto do Yucumã é uma das maiores quedas longitudinais do mundo. O Parque abriga muitas espécies ameaçadas de extinção, como a onça-pintada

(*Panthera onca*), o puma (*Puma concolor*), o cateto (*Pecari tajacu*), a anta (*Tapirus terrestris*), o pica-pau-rei (*Campephilus robustus*), a jacutinga (*Aburria jacutinga*) e o uru (*Odontophorus copueira*). São encontradas árvores com até 30 metros de altura, destacando-se o cedro (*Cedrela fissilis*), a grápia (*Apuleia leiocarpa*), a canjerana (*Cabralea canjerana*) e o louro (*Cordia trichotoma*). Também existem diversas espécies de peixes, répteis, anfíbios, borboletas, insetos e fungos.

Dessa forma, este trabalho apresenta uma descrição da paisagem geomorfológica da área do Parque Estadual do Turvo, localizado na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul, através dos elementos componentes do relevo, com aplicação de técnicas automáticas de determinação dos *geomorphons*. A aplicação desta técnicas de análise e representação espacial permitirão compreender as características físicas espaço geográfico do Parque Estadual do Turvo.

## 2 METODOLOGIA

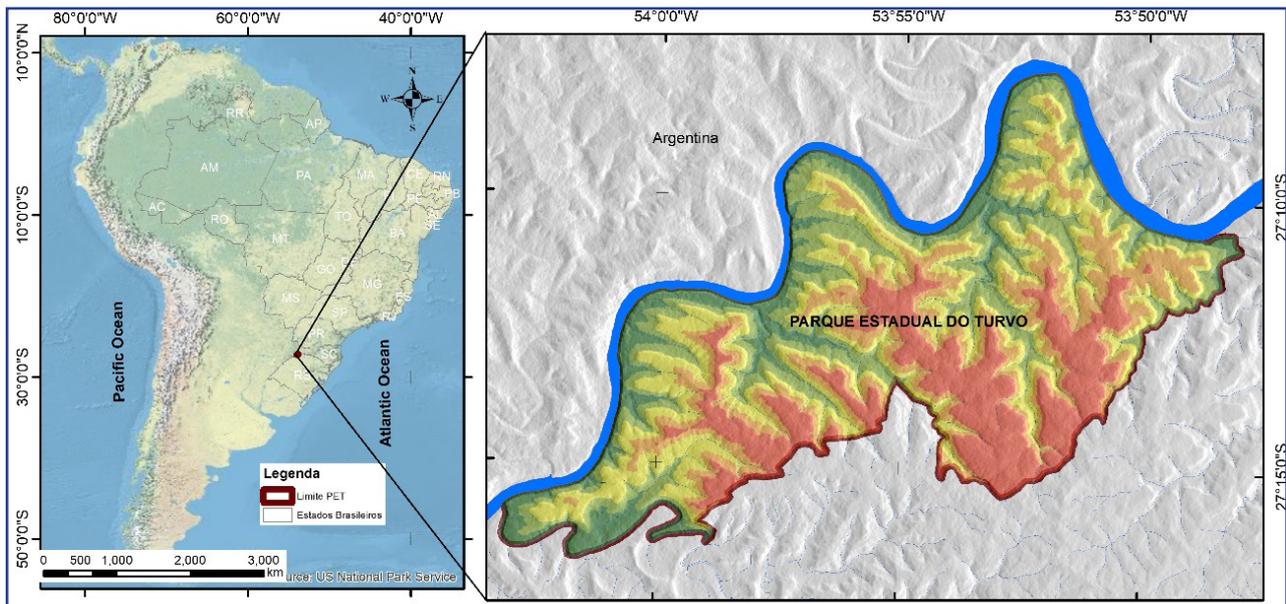
### 2.1 Área de estudo

O Parque Estadual do Turvo ocupa uma área de aproximadamente 175 km<sup>2</sup> na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul, que se limita com o estado de Santa Catarina e o território da Argentina através do Rio Uruguai (Figura 1). A área corresponde a uma Unidade de Conservação Ambiental brasileira, por ser uma das últimas áreas de preservação da Floresta Estacional Decidual. Como contexto regional da área, cabe destacar que apesar do estudo ser aplicado ao parque em específico, a ocorrência da Floresta Estacional Decidual no território Argentino, prolonga-se ao interior do país em área muito superior ao parque em análise.

Conforme a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (Wildner *et al.*, 2006), as litologias estão representadas pelo vulcanismo Cretáceo da Bacia do Paraná, que corresponde a Formação Serra Geral (Fácies Paranapanema), formada por basaltos granulares finos, melanocráticos, com horizontes vesiculares preenchidos por quartzos, zeolitas, carbonatos, entre outros. Segundo a classificação climática apresentada por

Rossato (2011), a região encontra-se classificada com clima “Subtropical IVa: muito úmido com inverno fresco e verão quente”. Conforme a autora:

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Turvo no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A composição colorida com paleta de cores mudando do verde-amarelo-vermelho refere-se a altitude do parque, variando de 126 m a 464 metros, respectivamente



Fonte: Elaborada pelos autores

Este clima ocupa a região localizada no N-NO do Planalto Basáltico, junto ao vale do rio Uruguai. Este clima recebe menor influência dos sistemas polares (44%), porém maior atuação dos sistemas tropicais marítimos (25-28%) e continentais (5%) na primavera e verão em associação com o efeito do relevo (Planalto Basáltico e vale do rio Uruguai) e da continentalidade. Chove entre 1700-1900 mm ao ano em 110-140 dias de chuva. São, portanto, chuvas mais bem distribuídas (9-12 dias ao mês), ainda que se perceba uma redução dos totais de precipitação nos meses de inverno. A temperatura média anual varia entre 20-23°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 14-17°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23-29°C. É a região com o conjunto de médias de temperaturas mais alto do estado.

O Parque encontra-se sobre o Bioma Mata Atlântica, bioma este que é o mais ameaçado entre os biomas brasileiros, com apenas cerca de 7% de sua cobertura florestal original, caracterizando-se como a quinta área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do Mundo. Atualmente, sua área encontra-se reduzida e

fragmentada com remanescentes florestais localizados principalmente em áreas de difícil acesso, ou sobre legislações de proteção, como é o caso da área em estudo (IBGE,2012). Nesse contexto, como o Parque Estadual do Turvo representa a maior área contínua de florestal decidual subtropical do Rio Grande do Sul, cabe uma avaliação das suas características de relevo – *geomorphons*.

## 2.1 Procedimentos metodológicos

Para as análises, foi utilizado o limite do Parque Estadual do Turvo disponibilizado pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2021). Quanto ao Modelo Digital de Elevação, foram usados os dados de elevação do programa da NASA, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com preenchimento de vazio do modelo de elevação digital conhecido como “SRTM Plus” ou SRTM NASA versão 3 (Farr, *et al.* 2007). O referido modelo possui uma resolução espacial de aproximadamente 90 metros e sua escolha se deu em função do carácter regional de análise, bem como a ausência de ruídos que causam anomalias na aplicação do algoritmo proposto.

Para fins de contextualização geral do relevo, foram elaborados um conjunto de mapas através de ferramentas de análise espacial em SIG que possibilitaram uma melhor caracterização espacial, bem como apresentação quantitativa dos parâmetros analisados. Como produtos cartográficos, foram analisados os mapas hipsométrico, de declividade, unidades de relevo e curvatura de vertentes. O mapa hipsométrico foi representado com a classificação das altitudes presentes no Parque em cinco classes de elevação: < 200 metros; 201 a 260; 261 a 320; 321 a 380 e; < 381 metros. Essas classes demonstram a variação espacial da distribuição das elevações, seguindo os aspectos de quebras naturais, ou seja, as variações no padrão de distribuição das elevações da área.

O mapa de declividade elaborado com as ferramentas de análise espacial em SIG definem a inclinação das vertentes através da análise do MDE. Foram utilizadas quatro classes de declividade para o presente trabalho: < 5% que representam áreas de baixa inclinação; 5 a 15% caracterizam áreas de inclinação média onde podem estar associadas áreas onduladas; 15 a 30% apresentam áreas com inclinações elevadas

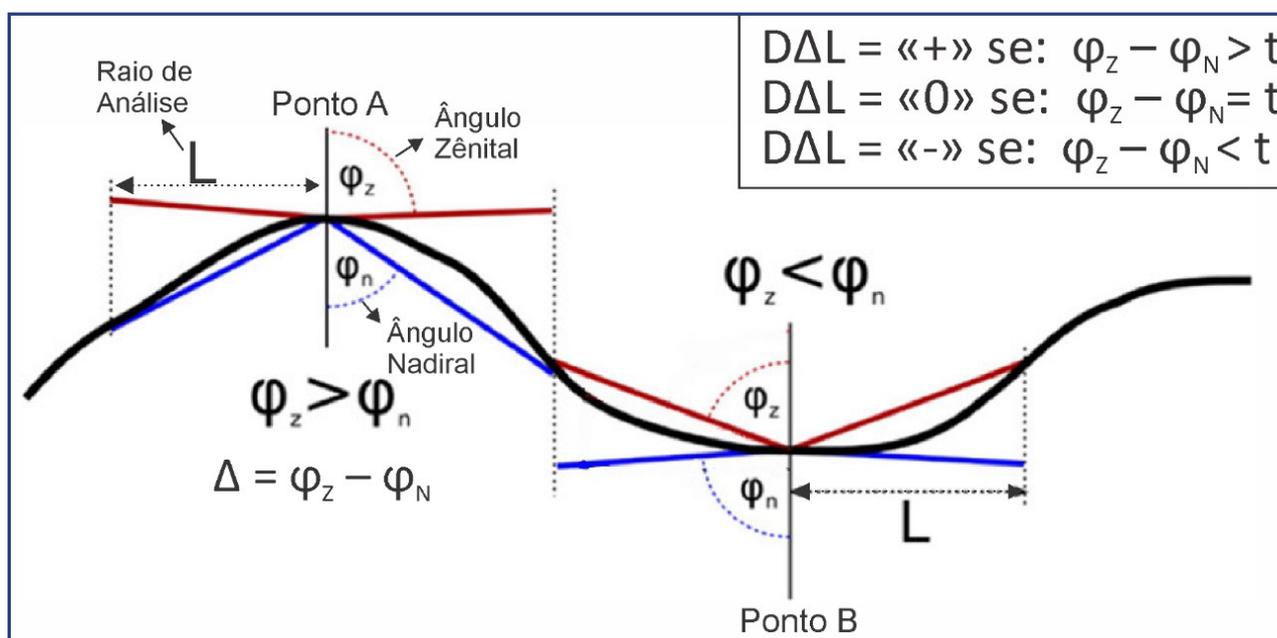
associadas à relevos mais movimentados como os morros e; > 30% que retratam vertentes muito íngremes associadas à porções escarpadas do relevo.

O mapa de curvatura representa as características das vertentes com relação aos seus aspectos de curvatura em perfil (côncava ou convexa) e em plano (convergente ou divergente). No mapa são apresentadas as combinações das curvaturas: Côncavas-convergentes, áreas com maior concentração dos fluxos de água por simbolizarem concentrações tanto em perfil quanto em plano; Côncavas-divergentes, que refletem as concentrações média-baixas dos fluxos, por concentrarem em perfil e dispersarem em plano; Convexa-convergentes exibem concentrações média-altas por dispersarem em perfil mas concentrarem em plano e; Convexa-divergentes, que reproduzem baixa concentração de fluxo, por dispersarem a água tanto em perfil quanto em plano.

O mapa de unidades de relevo simbolizam as configurações regionais da área de estudo, com relação as grandes unidades das colinas onduladas e associação de morros. Na área de estudo são apresentadas as colinas onduladas que se caracterizam por declividade inferiores a 15% e amplitudes altimétricas inferiores à 100 metros; e as associações de morros que representam as áreas de inclinação superiores à 15% e as amplitudes altimétricas são superiores à 100 metros. Nesse mapa são exibidas ainda, de forma linear, a representação de linhas de escarpas, porções das vertentes que constituem as inclinações mais íngremes da área de estudo associadas aos morros.

Os elementos de relevo (*geomorphons*) foram estabelecidos através do algoritmo proposto por Jasiewicz e Stepinski (2013), processado em ambiente SIG do Qgis/Grass com a ferramenta denominada *r.geomorphons*. A ferramenta consiste na análise espacial de um DEM através de uma janela móvel, de formato circular, ou anelar, com raios de análise a serem definidos pelo usuário (L). O segundo parâmetro a ser definido é o ângulo de suavização do modelo, em graus, a serem definidas as áreas planas. Para fins da análise dos elementos de relevo no Parque Estadual do Turvo, foi utilizado um raio de análise (L) de 20 *pixels* o que corresponde a aproximadamente 1.800 metros o que representa o comprimento médio regional das vertentes da área de estudo e, um limiar de suavização (t) de 2° (dois graus).

Figura 2 – Ilustração da definição dos gradientes em dois pontos através dos ângulos Zenital e Nadiral. Através do ângulo mostrado no ponto A, o gradiente seria positivo (+), pois está além da diferença de altitude analisado pelo raio de análise (L), o  $D\Delta L$ , ou seja, a diferença entre os ângulos Zenital e o ângulo Nadiral é maior que o limiar (t), no caso 2°. Já o ângulo mostrado no ponto B o gradiente seria negativo (-), visto que, além da diferença de altitude, analisando o raio de análise (L), o  $D\Delta L$  é menor que o limiar (t), no caso 2°. Destacando que o  $D\Delta L$  é calculado em oito direções para cada ponto (pixel), e na figura, apesar de mostrar duas direções para cada ponto, demonstrou-se apenas um cálculo do  $D\Delta L$  para cada ponto

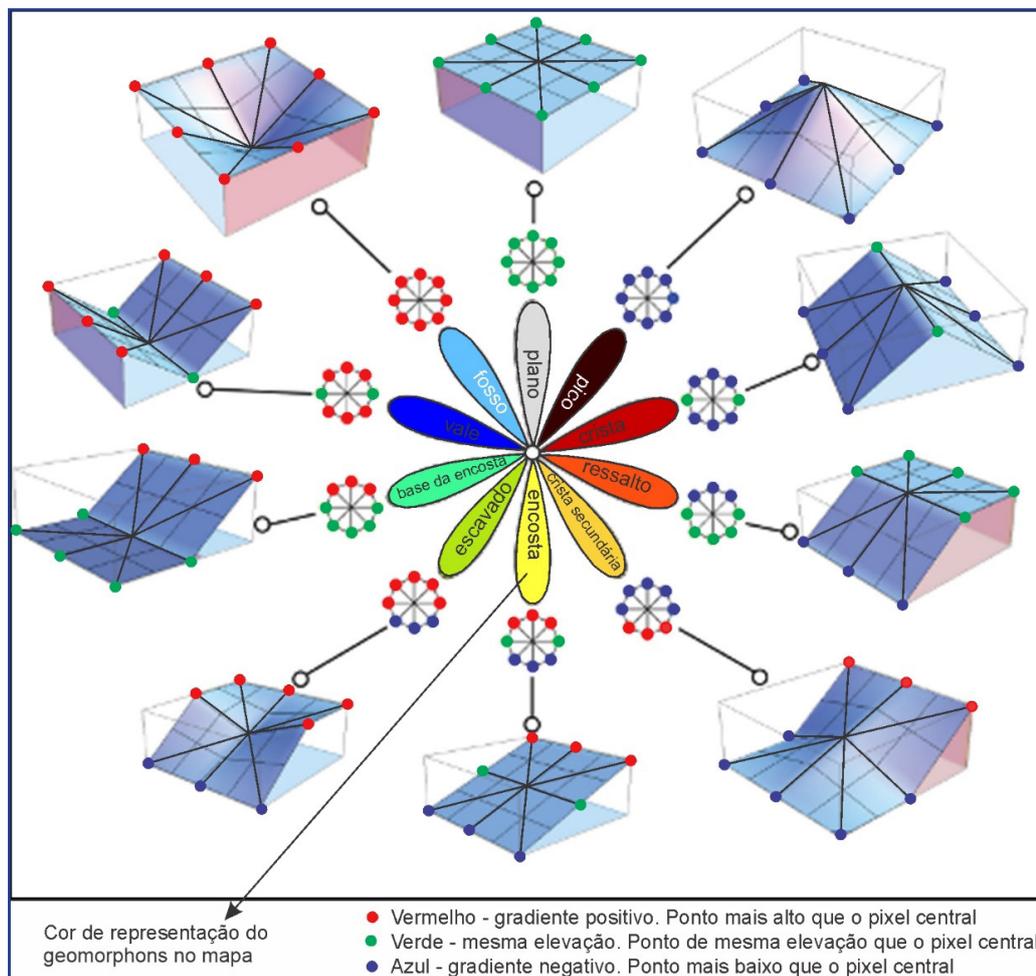


Fonte: Adaptado de Jasiewicz e Stepinski (2013)

O algoritmo analisa o perfil de altitude entre o *pixel* central e os *pixels* adjacentes em oito direções, estabelecendo regiões com gradiente positivo "+", gradiente similar "0", ou gradiente negativo "-" com relação a diferença de altitude em cada uma das direções. Para estabelecer esses gradientes, o algoritmo ainda analisa o ângulo Zenital e Nadiral para cada direção de análise e aplica o limiar de suavização (t) na diferença entre os dois ângulos para a definição dos gradientes (+; 0; -). Para cada perfil (direção), um conjunto de ângulos de elevação  $D\Delta L$  é calculado; o símbolo que denota esse

conjunto indica uma dependência da direção (D), da distância do raio de análise (L) e da diferença dos ângulos ( $\Delta$ ). A diferença entre o ângulo Zenital e Nadiral comparado ao limiar de suavização vai definir o gradiente do perfil (Figura 2). A referência, para a definição do raio de análise (L) e o limiar de suavização (t), é baseada na avaliação de campo e na interpretação do relevo da área de estudo. Através da análise do comprimento médio das vertentes, define-se o raio de análise e, a partir da inclinação média delas, retrata-se o grau de suavização.

Figura 3 – Esquema representativo dos dez elementos de relevo propostos por Jasiewicz e Stepinski (2013). Ao centro os dez elementos possíveis, no seu entorno a representação da resposta do gradiente de elevação nas oito direções de análise (verde= mesma elevação; azul=gradiente negativo; vermelho- gradiente positivo) e na porção externa da figura os modelos característicos dos elementos propostos



Fonte: Adaptado de Jasiewicz e Stepinski (2013)

No conjunto do padrão das oito direções são definidos os 10 elementos de relevo denominados: áreas planas (flat), pico (peak), crista (ridge), ressalto (shoulder), crista secundária (spur), encosta (slope), escavado (hollow), base da encosta (footslope), vale (valey) e fosso (pit). A Figura 3 mostra o modelo dos dez elementos de relevo juntamente com a resposta do gradiente de elevação das oitos direções de análise para cada elemento.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

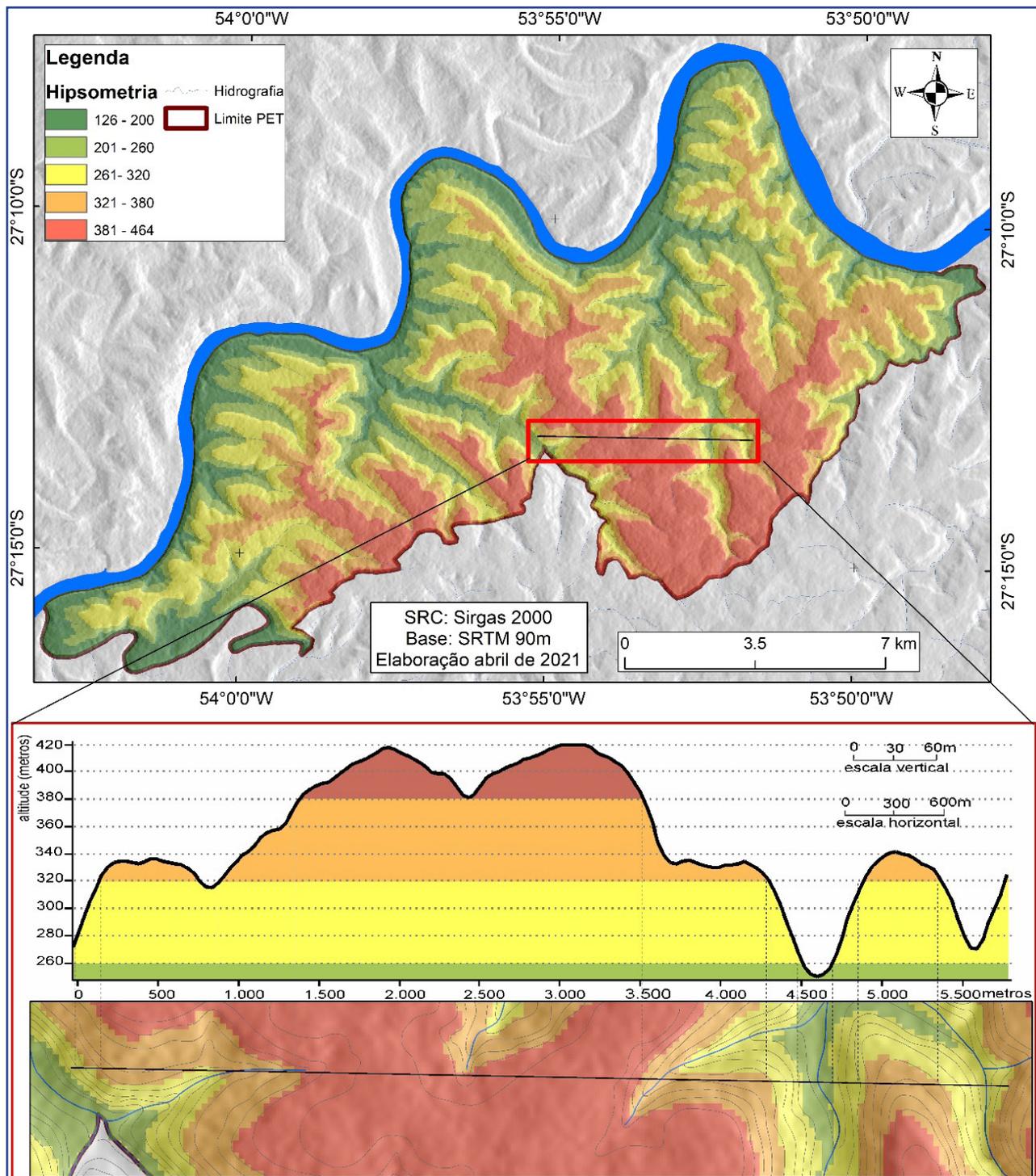
### **3.1 Caracterização geomorfológica geral**

O Parque Estadual do Turvo localiza-se na unidade geomorfológica do Planalto dos Campos Gerais e representa os terminais escarpados abruptos do Planalto dos Campos Gerais, desenvolvidos sobre as rochas efusivas básicas (IBGE, 2003). Isso se refere a um dos compartimentos geomorfológicos do estado do Rio Grande do Sul mais individualizados visualmente através da imagem de radar e são áreas muito propícias ao desenvolvimento e preservação de uma vegetação do tipo florestal.

#### **3.1.1 Distribuição das Altitudes**

A área do Parque Estadual do Turvo apresenta as maiores altitudes com 464 metros, e as menores em torno de 126 metros, representando uma amplitude altimétrica de 338 metros. Especialmente as áreas de menor altitude encontram-se associadas às margens do Rio Uruguai e na porção sudoeste do Parque, enquanto as áreas mais elevadas situam-se nas porções centrais e sudoeste, formando os divisores de sub-bacias, onde ocorrem muitas nascentes. (Figura 4):

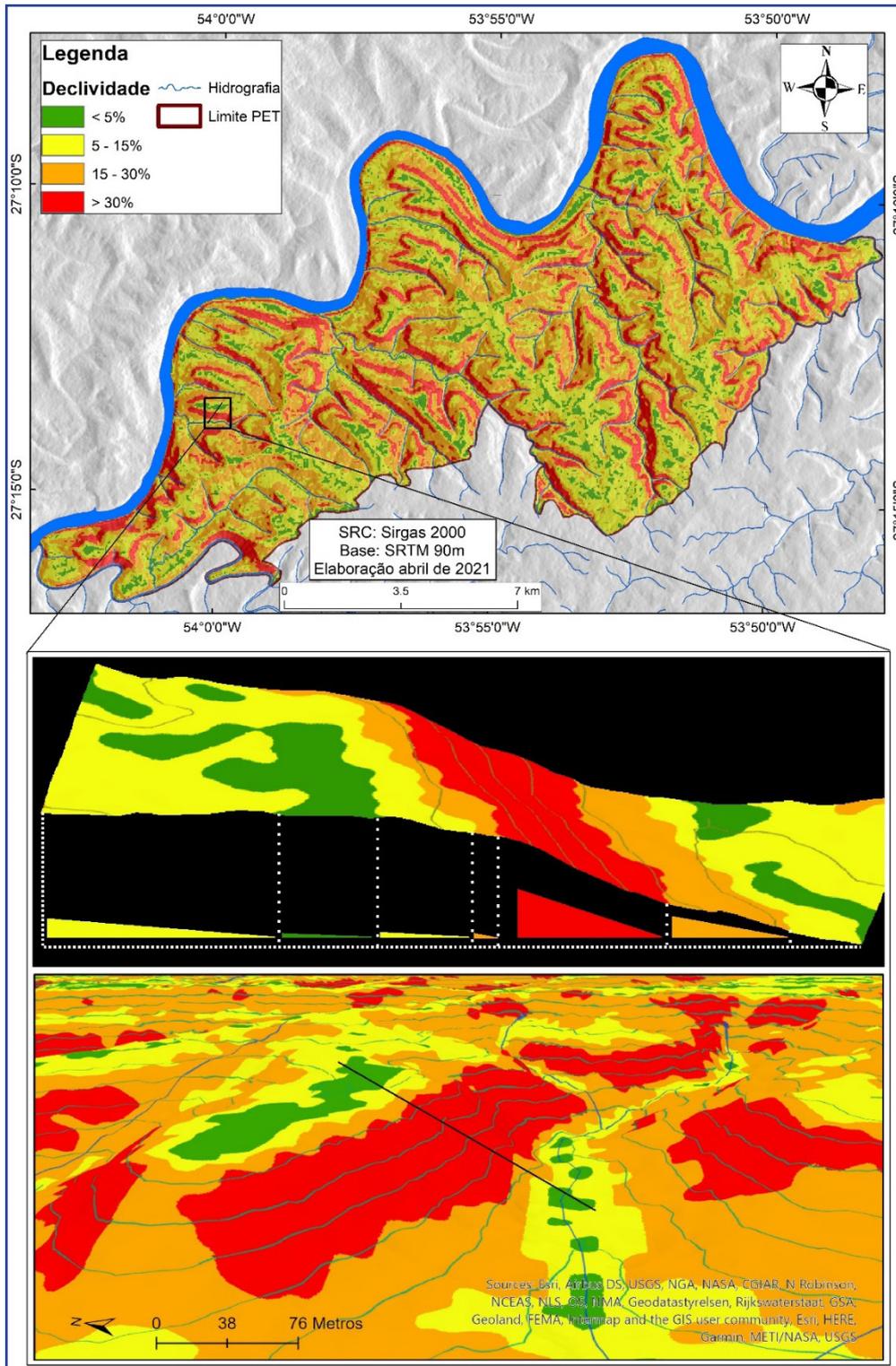
Figura 4 – Distribuição espacial das variáveis hipsométricas no Parque Estadual do Turvo e uma representação esquemática dessa informação detalhada no perfil topográfico



Fonte: Elaborada pelos autores

### 3.1.2 Declividade das Encostas

Figura 5 – Distribuição espacial das declividades no Parque Estadual do Turvo e uma representação esquemática dessa informação



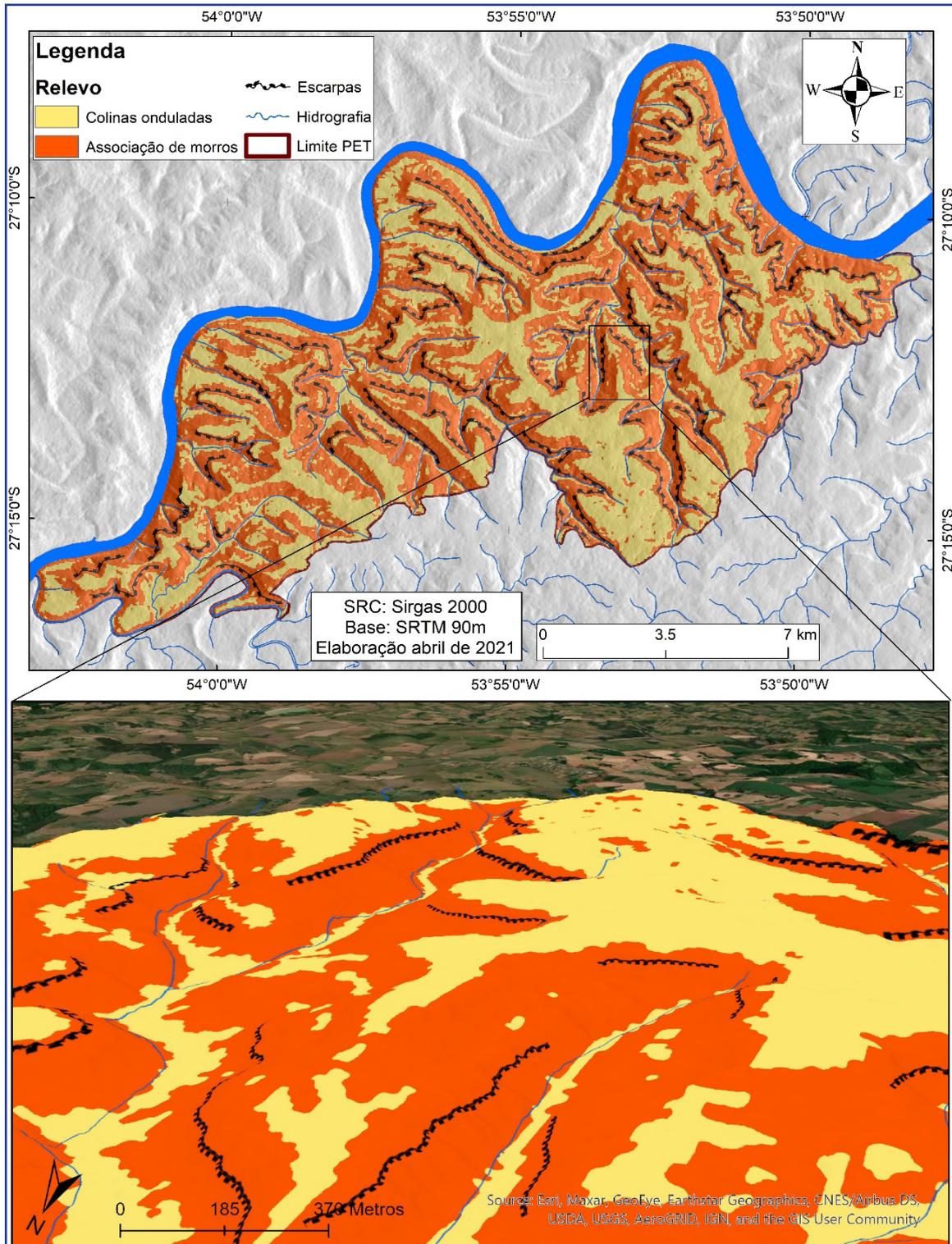
Fonte: Elaborada pelos autores

Com relação às declividades, a área do Parque é caracterizada por um relevo fortemente ondulado, onde predominam encostas com declividades que variam de 15 a 30% (8,53 a 16,69°) (aproximadamente 40% da área). Declividades inferiores a 5% (2,86°) correspondem a cerca de 8% da área, associadas às pequenas porções das margens do Rio Uruguai e aos divisores d'água nas áreas de maior altitude. As encostas com declividades de 5 a 15% (2,86 a 8,53°) apresentam cerca de 33% da área, formando porções onduladas nas maiores altitudes do relevo. O entalhamento do relevo é marcado por vales encaixados, onde as declividades são superiores a 30% (16,69°), representando cerca de 19% da área. A Figura 5 mostra a distribuição espacial das declividades na área de estudo e uma caracterização esquemática da ocorrência das declividades nas vertentes.

### 3.1.3 Unidade de Formas de Relevo

Quanto as unidades de formas do relevo, destacam-se duas grandes unidades, as colinas onduladas e a associação de morros. As colinas onduladas ocupam cerca de 41% da área total e estendem-se principalmente pela porção central e sudeste associadas às áreas mais elevadas do Parque Estadual do Turvo, junto aos interflúvios. Já a associação de morros ocupa a maior área, cerca de 59% do total, e ocorre associado às porções do relevo com forte atuação da dissecação, formando vales profundos com encostas muito inclinadas, constituindo, algumas vezes, escarpas. A Figura 6 apresenta a distribuição espacial das unidades de relevo e uma representação esquemática da ocorrência destas:

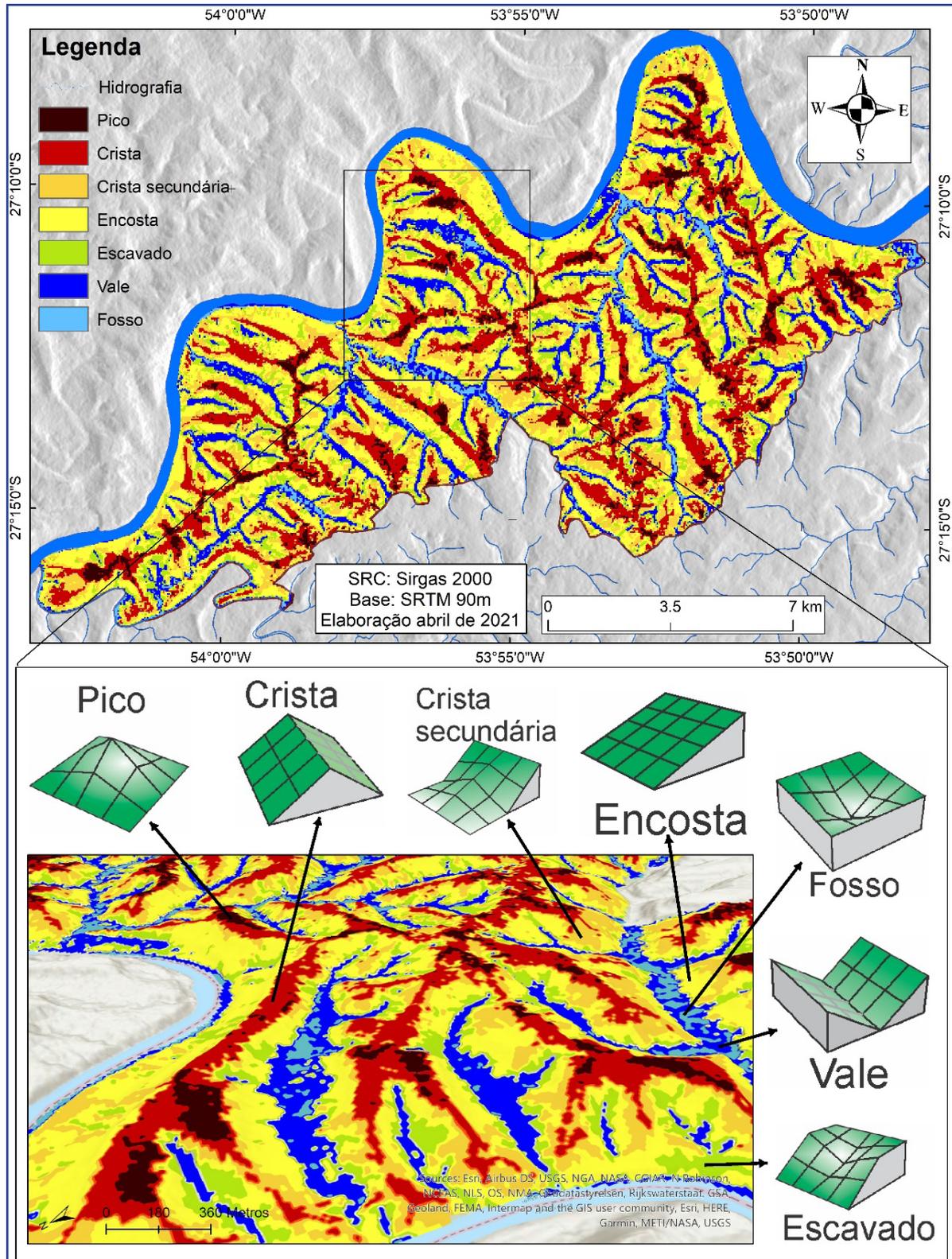
Figura 6 – Distribuição espacial das unidades de relevo no Parque Estadual do Turvo e uma representação esquemática dessa informação



Fonte: Elaborada pelos autores

### 3.2 Elementos de relevo (*geomorphons*)

Figura 7 – Distribuição espacial dos elementos de relevo (*geomorphons*), no Parque Estadual do Turvo e representação destes



Fonte: Elaborada pelos autores

A classificação dos elementos de relevo, definidas como geomorphons, a partir de um modelo digital de elevação (Digital Elevation Model ou DEM) tem como base o princípio de reconhecimento de padrões espaciais e detrimento do uso da geometria diferencial. No cerne do método está o conceito de geomorphon (fonótipos geomorfológicos) — um padrão ternário simples que serve como um arquétipo de uma morfologia de terreno particular. Para a definição de geomorphons, a análise espacial é fundamental, dado que visa à identificação de padrões que descrevem os objetos.

O relevo do Parque do Turvo é caracterizado pela ocorrência de sete elementos do tipo: Pico, Crista, Crista Secundária, Encosta, Fosso, Vale e Escavado, com base nos geomorphons distribuídos, conforme mostrado na Figura 7 e sua representação em 3D.

A descrição detalhada de cada elemento de relevo (geomorphon encontrado no Parque Estadual do Turvo é apresentada na sequencia:

Pico: ocorre em cerca de 5% da área de estudo. Esse elemento está associado às porções mais elevadas da área, em declividades de 5 a 15%, formando curvaturas convexas-divergentes. Ele Representa elementos do relevo que identificam elevações superiores em relação ao seu entorno;

Crista: representa aproximadamente 20% da área total. Ocorre nas declividades menores que 15%, formando os principais topos divisores d'água. Quanto as curvaturas, elas associam-se predominantemente as convexas-convergentes e convexas-divergentes;

Crista secundária: representa cerca de 20% da área de estudo. Essa forma porções de topo que dividem os canais secundários das sub-bacias, associando-se principalmente as altitudes médias à baixas e às declividade na classe de 15% a 30% em encostas do tipo convexas-convergentes nas unidades de Morros;

Encosta: é a que predomina na área de estudo com aproximadamente 29% da área total. Esse elemento é largo nas áreas de baixa altitude e declividade, associada unidades de colinas. Ele ocorre de forma estreita no relevo da unidade de Morros com declividades superiores a 15%. Os tipos principais, quanto a curvatura, côncavas-divergentes e convexas-convergentes;

Escavado: é os que ocupam cerca de 12% da área total e ocorrem, predominantemente, nas altitudes menores e declividades entre 15 a 30%. Formam reentrâncias nas encostas das unidades de Morros, onde surge a concentração do fluxo superficial e podem representar áreas de nascentes;

Vale: corresponde a cerca de 11% da área total. Ocupa maior área sobre as altitudes médias à baixas e sobre as declividades de 5% a 15%. Quanto às curvaturas, ocorrem predominantemente sobre as côncavas-convergentes, mas ocupam áreas significativas sobre as côncavas-divergentes. Já com relação às unidades de relevo, associam-se quase que exclusivamente às colinas onduladas, formando o fundo dos vales destas áreas;

Fosso: Ocupa a menor área com aproximadamente 3% da área total. Ele está associado as menores altitudes e nas declividades inferiores a 15%, predominando nas declividades de 5% a 15%. Quanto a curvatura predominam sobre as côncavas-convergentes, mas ocorrem sobre as côncavas-divergentes. Já com relação às unidades de relevo ocorrem quase que exclusivamente associados aos elementos vales, formando áreas rebaixadas nos vales fluviais.

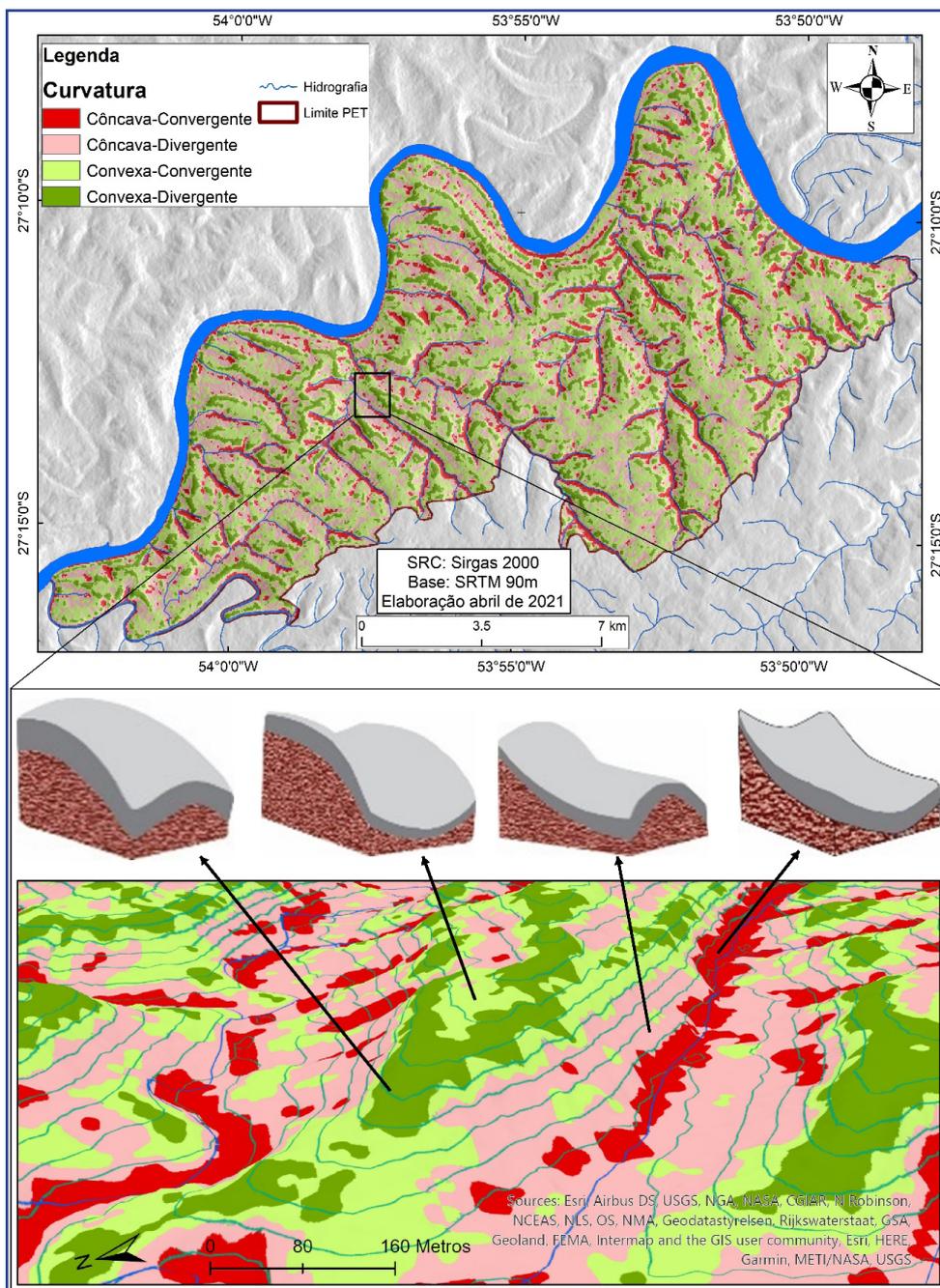
### 3.2.1 Forma das Encostas

No que se refere ao tipo de encosta, as côncava-convergentes são as que menos ocorrem em área, representando cerca de 13%, estando associadas aos cursos d'água. As côncava-divergentes ocupam cerca de 32% da área e associam-se à base das encostas. As vertentes convexas-divergentes apresentam as porções de topo das encostas e ocupam cerca de 16% da área. Por fim, as convexas-convergentes são as mais comuns, cerca de 39%, e ocupam o terço superior das encostas. A Figura 8 apresenta a distribuição espacial das curvaturas das encostas e uma caracterização esquemática em bloco diagrama.

Os parâmetros geomorfológicos descritos apresentam as colinas onduladas e os morros como unidades de formas que caracterizam a área, com maiores altitudes, ao redor de 380m. O processo de dissecação vertical é pronunciado, conectado a descontinuidades tectônicas e marcado pelo relevo de morros com predominância de elementos tipo Crista,

Crista Secundária e Escavado. A Tabela 1 mostra a síntese das principais variáveis do relevo que ocorrem relacionados aos elementos do relevo, bem como representa a área e a porcentagem que estes ocupam no Parque Estadual do Turvo:

Figura 8 – Distribuição espacial dos tipos de encosta no Parque Estadual do Turvo e uma representação esquemática dessa informação



Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 1 – Síntese das principais variáveis do relevo relacionada aos elementos de relevo e as áreas ocupadas por estes elementos de relevo no Parque Estadual do Turvo

Elemento de relevo	Área km <sup>2</sup>	Porcentagem	Variáveis do relevo predominante			
			Hipsometria	Declividade	curvatura	unidade
Pico	8,57	4,96	> 380 m	5 - 15%	Convexa-convergente	Colinas onduladas
Crista	34,16	19,77	> 380 m	5 - 15%	Convexa-convergente	Colinas onduladas
Crista secundária	34,23	19,82	261 - 320 m	15 - 30%	Convexa-convergente	Associação de morros
Encosta	50,47	29,22	261 - 320 m	15 - 30%	Côncava-divergente	Associação de morros com escarpa
Escavado	20,77	12,02	201 a 320 m	15 - 30%	Côncava-divergente	Associação de morros
Vale	19,36	11,36	201 - 260 m	5 - 15%	Côncava-convergente	Colinas onduladas
Fosso	4,87	2,82	< 200 m	5 - 15%	Côncava-convergente	Colinas onduladas

Fonte: Elaborada pelos autores

As fotografias da Figura 09 demonstram a ocorrência espacial dos elementos do relevo no Parque Estadual do Turvo. Essas fotografias foram adquiridas com uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT), Phantom 4 e Matrice 100. Foi buscada a identificação dos principais elementos através da forma como ocorrem espacialmente na área de estudo, destacando que espacialmente ocorre a combinação dos diversos elementos e nas fotografias são apresentadas as principais ocorrências.

Cabe destacar ainda, frente às análises e à apresentação dos sete elementos representados para o Parque Estadual do Turvo, que estes são identificados em função dos parâmetros definidos na análise. As interpretações da ocorrência deles podem

ser realizadas a fim de possíveis combinações, como é o caso dos picos e cristas, ou dos fossos e vales, com a finalidade de certa homogeneização da ocorrência delas e possível relações com outros variáveis e fatores ambientais, como a distribuição da vegetação florestal, entre outros:

Figura 09 – Fotografias com indicação dos elementos de relevo presentes no Parque Estadual do Turvo. Imagem de VANT (*Phantom 4 e Matrice 100*, a 125 m de altura) de 4 de maio de 2021



Fonte: elaborada pelos autores

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou as principais características relacionadas ao relevo do Parque Estadual do Turvo, como a distribuição das altitudes que representam grandes variação, com elevações em torno de cem metros próximos ao rio Uruguai e altitudes próximas de 500 metros nas porções sudeste. As declividades dela formam e apresentam grandes variações, sendo predominante as inclinações mais fortes com a presença de áreas escarpadas, mas ainda, presença de áreas com menores inclinações principalmente nas áreas mais elevadas.

No contexto dos tipos das vertentes, foi possível a identificação das formas predominantes convexas-divergentes e côncavas divergentes, representando médio potencial de acúmulo do fluxo d'água. Referente as unidades de relevo, em função da grande variação das altitudes e das declividades mais fortes, predomina a associação de morros com presenças de linhas de escarpas, enquanto as áreas de colinas onduladas estão presentes principalmente nas porções mais elevadas do Parque.

Quanto aos elementos de relevo, a análise demonstra a associação das demais informações, com a predominância do elemento encosta, representado pelas vertentes com inclinações fortes, de curvatura côncava-divergentes nas associações de morros. No que diz respeito aos elementos de relevo, foram identificados sete tipos: Pico, Crista, Crista Secundária, Encosta, Fosso, Vale e Escavado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições e agências de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ; processos nº 305084/2020-8, Processo: 300975/2019-8, Processo: 301204/2018-7; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS; protocolo 23830.388.22048.19092016, Processo: Edital 02/2017 PqG 17/2551 001139-2b); National Aeronautics and Space Administration (NASA); United States Geological Survey (USGS); Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INPE).

## REFERÊNCIAS

- ASHTEKAR J.M. *et al.* Digital mapping of soil properties and associated uncertainties in the llanos orientales, south america. **GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System - Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference, 367-372, 2014.** DOI: <https://doi.org/10.1201/b16500>
- ATKINSON, J.; CLERCQ, W. de; ROZANOV, A. "Multi-Resolution Soil-Landscape Characterisation in KwaZulu Natal: Using Geomorphons to Classify Local Soilscales for Improved Digital Geomorphological Modelling." **Geoderma Regional 22 (September): e00291, 2020.** DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00291>
- FARR, T. G *et al.* The Shuttle Radar Topography Mission, **Rev. Geophys.** 2007, 45, RG2004, DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- GAIDA, W. *et al.* Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. Investigaciones Geográficas, **Boletín del Instituto de Geografía, UNAM**, v. x, n. x, p. 1–19, 2016. Disponível em: <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/52159>. Acesso em março de 2023. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.52159>.
- HOLMES, P. J.; GRAB, S. W.; KNIGHT, J. "South African Geomorphology: Current Status and New Challenges." **South African Geographical Journal** 98 (3): 405–16, 2016. <https://doi.org/10.1080/03736245.2016.1208581>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **RADAMBRASIL..** Rio de Janeiro: IBGE, 2003. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 de Janeiro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass.** Brasil, 2004. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao>. Acesso em 14 de abril de 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_vegetacao\\_brasileira.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf).
- INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **Áreas especiais: Unidades de Conservação.** Disponível em: [https://geoservicos.ibge.gov.br/geoserver/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=CCAR:BCIM\\_Unidade\\_Protecao\\_Integral\\_A&styles=&bbox=-73.999,-33.605,-32.349,5.278&width=263&height=245&tiled=true&srs=EPSG:4326&format=image/png&transparent=true](https://geoservicos.ibge.gov.br/geoserver/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=CCAR:BCIM_Unidade_Protecao_Integral_A&styles=&bbox=-73.999,-33.605,-32.349,5.278&width=263&height=245&tiled=true&srs=EPSG:4326&format=image/png&transparent=true). Acesso em: 14 de abril de 2021.
- JASIEWICZ J., STEPINSKI T.F. Geomorphons-a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p.147-156, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- NOWOSAD J. Motif: an open-source R tool for pattern-based spatial analysis. **Landscape Ecology**, v.36, p.29–43, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01135-0>

ROBAINA, L. E. S. *et al.* Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'e Ga O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 37-48, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41i0.48724>

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado. **Parque Estadual do Turvo**. Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/parque-estadual-do-turvo>. Acesso em: 14 de abril de 2021.

SILVA S.H.G. *et al.* Geomorphometric tool associated with soil types and properties spatial variability at watersheds under tropical conditions. **Scientia Agricola**, v.73, n.4, p.363-370, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0293>

SILVEIRA C.T. *et al.* Automated classification of landform elements in the state of paraná (Brazil) applying the proposal of the geomorphons [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, p.33-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1263>

VAN ZIJL, G.; LE ROUX P. "Creating a Conceptual Hydrological Soil Response Map for the Stevenson Hamilton Research Supersite, Kruger National Park, South Africa." **Water SA** 40 (2): 331-36. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i2.15>

WILDNER, W. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul - Escala 1:750000**, 2006. Porto Alegre : CPRM, Serviço Geológico do Brasil.

## Contribuições de autoria

### 1 – Romario Trentin

Universidade Federal de Santa Maria, Doutor em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-0615-2801> • [romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)

Contribuição: Conceituação, metodologia, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

### 2 – Luís Eduardo de Souza Robaina

Universidade Federal de Santa Maria, Doutor em Geologia

<https://orcid.org/0000-0002-2390-6417> • [lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)

Contribuição: Conceituação, metodologia, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

### 3 – Fábio Marcelo Breunig

Universidade Federal de Santa Maria, Doutor em Sensoriamento Remoto

<https://orcid.org/0000-0002-0405-9603> • [fabio-breunig@gmail.com](mailto:fabio-breunig@gmail.com)

Contribuição: Conceituação, metodologia, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

## Como citar este artigo

TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S.; BREUNIG, F.M. Análise da paisagem geomorfológica no Parque Estadual do Turvo – Rio Grande do Sul – Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 28, e84575, 2024. Disponível em: 10.5902/2236499484575. Acesso em: dia mês abreviado ano