



## USO DO ÍNDICE DE POSIÇÃO TOPOGRÁFICA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO DAS ANTAS, IRATI – PARANÁ

Milena Rodrigues **Mudre**<sup>1</sup>, Julio Manoel França da **Silva**<sup>2</sup>

(1 - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus Irati, Graduanda em Geografia, [mi\\_mudre@hotmail.com](mailto:mi_mudre@hotmail.com); 2 – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Prof. Dr., Departamento de Geografia, [jmsilva@unicentro.br](mailto:jmsilva@unicentro.br))

**Resumo:** O presente trabalho é embasado pelo Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação de elementos geomorfológicos da Bacia do Rio das Antas – integrante do sistema hidrográfico do Alto da Bacia do Rio Tibagi, no estado do Paraná. Tais elementos foram gerados visando a obtenção de informações correspondentes a complexidade topográfica da área de estudo, sendo acompanhados de testes de validação em campo para definição de um índice representativo das suas características particulares. Dentre os dados testados, o IPT gerado a partir de janela de vizinhança de 15 metros de raio foi a que apresentou maior compatibilidade à validação de campo, possibilitando o mapeamento das seguintes classes de posição topográfica: Topos e Cristas, Vertentes superiores, Vertentes intermediárias, Áreas planas, Vertentes rebaixadas e Vales fluviais. Apesar de não ser o objetivo principal do trabalho, verificou-se, preliminarmente, que tais classes de IPT possuem significativa associação com outros aspectos do meio físico que, no entanto, necessitam ser mais bem esmiuçadas para avaliação dos graus de correlação. De qualquer forma, evidencia-se o grande potencial de uso deste índice para análise de elementos geográficos que possuem, potencialmente, vínculo espacial com a variabilidade topográfica da área estudada.

**Palavras-chave:** Geomorfometria, Formas de Relevo, Cartografia Geomorfológica.

## USE OF TOPOGRAPHIC POSITION INDEX FOR CLASSIFICATION OF GEOMORPHOLOGICAL ELEMENTS OF THE ANTAS RIVER BASIN, IRATI – PARANÁ (BRAZIL)



**Abstract:** The present work is based on the Topographic Position Index (IPT) for the classification of geomorphological elements of the Antas River Basin – part of the hydrographic system of Upper Tibagi River Basin, in the state of Paraná. These elements were generated aiming at obtaining information corresponding to the topographical complexity of the study area, being accompanied by field validation tests to define an index representative of its particular characteristics. Among the data tested, the TPI generated from a neighborhood window of 15 meters radius was the one that presented greater compatibility to the field validation, allowing the mapping of the following classes of topographic position: Ridges and Hilltops, Upper Slopes, Intermediate Slopes, Flat Areas, Lower Slopes and River Valleys. Although not the main objective of the study, it was found that these classes of TPI have a significant association with other aspects of the physical environment, which, however, need to be better scrutinized for the evaluation of correlation degrees. In any case, it is evident the great potential of use of this index to analyze the geographic elements that have, potentially, spatial link with the topographic complexity of the studied area.

**Keywords:** Geomorphometry, Landforms, Geomorphologic Mapping

### **USO DEL ÍNDICE DE POSICIÓN TOPOGRÁFICA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO DE LAS ANTAS, IRATI – PARANÁ (BRASIL)**

**Resumen:** El presente trabajo está basado en el Índice de Posición Topográfica (IPT) para la clasificación de elementos geomorfológicos de la Cuenca del Río das Antas - integrante del sistema hidrográfico del Alto de la Cuenca del Río Tibagi, en el estado de Paraná. Estos elementos se generaron para obtener información correspondiente a la complejidad topográfica del área de estudio, acompañados de pruebas de validación en campo para definir un índice representativo de sus características particulares. Los datos probados, el IPT generado a partir de la ventana de vecindad de 15 metros de radio fue la que presentó mayor compatibilidad a la validación de campo, posibilitando el mapeo de las siguientes clases de posición topográfica: Topos y Cristas, Vertientes superiores, Vertientes intermedias, Áreas planas, Vertientes rebajadas y Valles fluviales. Apesar de no ser el objetivo principal del trabajo, se verificó, preliminarmente, que tales clases de IPT poseen significativa asociación con otros aspectos del medio físico que, sin embargo, necesitan ser más bien aplastadas para



la evaluación de los grados de correlación. De cualquier forma, se evidencia el gran potencial de uso de este índice para análisis de los elementos geográficos que poseen, potencialmente, vínculo espacial con la complejidad topográfica del área estudiada.

**Palabras-clave:** Geomorfometría, Formas del Relieve, Cartografía Geomorfológica

## 1. Introdução

Entre os recursos metodológicos modernos direcionados a cartografia geomorfológica destacam-se aqueles disponibilizados pela Geomorfometria – ciência interdisciplinar derivada da articulação entre as Ciências da Terra, Ciências Exatas e Ciência da Computação, que visa de modo contínuo ou específico, quantificar as formas e elevações da superfície terrestre (PIKE, 2000; TOBLER, 2000; RASEMANN *et al.*, 2004).

Destacando à geomorfologia, Macmillan e Shary (2009) afirmam que a geomorfometria, antes de se tornar uma área de conhecimento com “direitos próprios”, por muito tempo foi considerada uma subárea daquela primeira, devido o amplo conjunto de relações diretas e indiretas existentes entre ambas. Os autores consideram que apesar de ter se individualizado enquanto ciência, a geomorfometria possui, hodiernamente, funções imprescindíveis para a análise geomorfológica, apresentando inúmeras vantagens em relação aos procedimentos manuais e qualitativos.

Em comparação a métodos manuais, a classificação digital de formas e elementos de relevo possibilita que unidades homogêneas sejam melhores reconhecidas em relação às unidades adjacentes (MACMILLAN e SHARY, 2009) e que as mesmas sejam hierarquizadas em níveis taxonômicos mais precisos (MACMILLAN *et al.*, 2004), possibilitando a estruturação de “um sistema de informações geomorfológicas capaz de prover métodos apropriados de análise e modelagem” (DIKAU, 1990, p. 230), melhorando a consistência e confiabilidade na precisão e espacialização dos dados adquiridos.

Destaca-se, neste sentido, a proposta metodológica de Weiss (2001), que considera que muitas características físico-ambientais estão altamente correlacionadas à posição topográfica dos componentes de uma paisagem. Analisando a vizinhança existente entre valores de declividade e de elevação em Modelo Digital de Elevação, buscou padrões espaciais para classificação supervisionada de feições e formas de relevo, relacionando-os a fenômenos hidrológicos, climatológicos e ecológicos em sua área de pesquisa: os arredores do Monte Hood



(Oregon, EUA).

O autor propôs o algoritmo Índice de Posição Topográfica – IPT (*Topographic Position Index – TPI*) para verificar as diferenças entre valores de um ponto central de células *raster* com os valores médios do seu entorno. Utilizando-se de janelas de vizinhança de múltiplos formatos e tamanhos, pondera que valores positivos indicam áreas mais elevadas (ex. cristas e morros); valores negativos, locais mais rebaixados (ex. vales e depressões); e valores próximos à zero, superfícies planas (ex. planícies aluviais ou costeiras).

Como células de grade de valores idênticos podem se referir a contextos geomorfológicos distintos, sugere, ainda, que a discretização do IPT em formas de relevo se baseie na variabilidade de vizinhança existente, que pode ser definida a partir de valores de desvio padrão. Nesta conjuntura, define duas propostas de classificação de formas de relevo: uma com até seis classes, a partir de matriz única, com raio de análise de tamanho fixo; e outra com até dez classes, a partir de duas matrizes, com raios de análise com tamanhos que podem variar conforme o grau de generalização requerido.

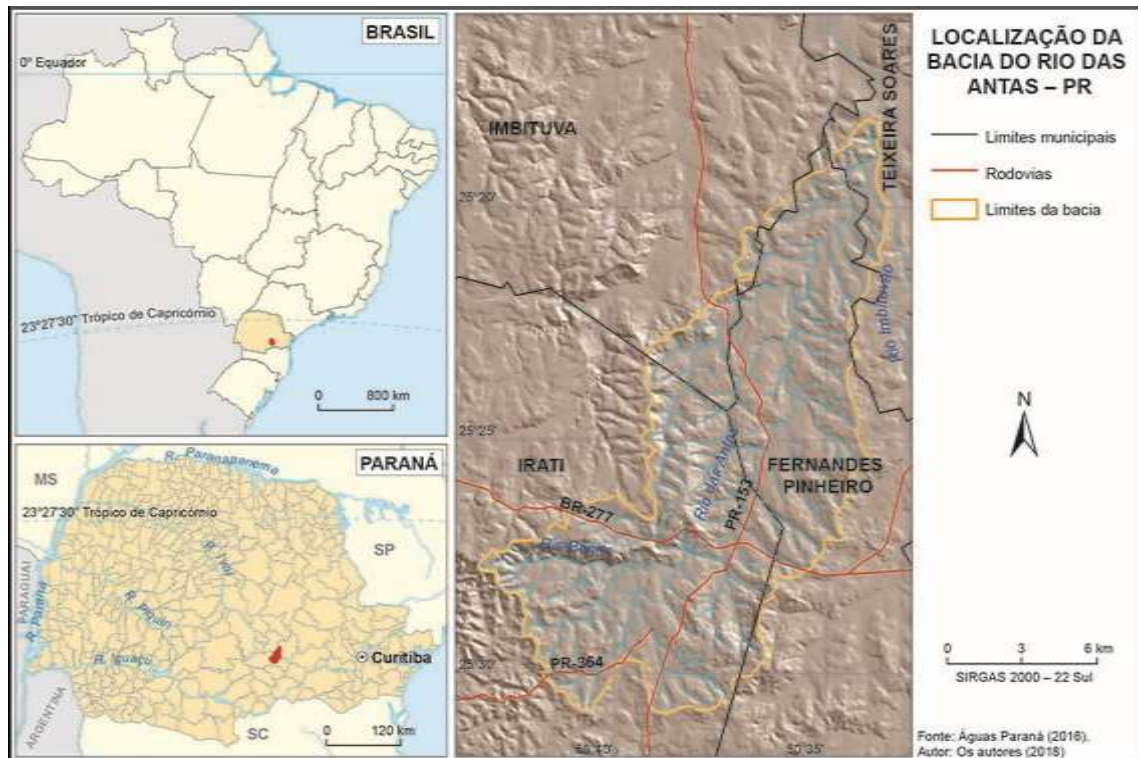
Assim sendo, o presente trabalho se propõe a analisar o relevo a partir de técnicas geomorfométricas; constituindo o objetivo principal. Em relação aos objetivos específicos destacam-se: 1. Geração de Modelo Digital do Terreno e obtenção de parâmetros geomorfométricos primários (Hipsometria e Declividade) e secundários (IPT); 2. Elaboração de mapa de Elementos de Relevo na escala 1:50.000.

O estudo foi aplicado na bacia hidrográfica do Rio das Antas, localizada no sudeste paranaense, entre os municípios de Irati, Imbituva, Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares (Figura 1), cuja área total, de 166,73 km<sup>2</sup>, integra o sistema hidrográfico da Bacia do Alto Tibagi.

## 2. Métodos e Procedimentos

As bases cartográficas digitais referem-se às fontes de dados que subsidiaram todas as etapas da pesquisa, cujo processamento se viabilizou mediante os softwares ArcGIS 10.1 e QGIS 2.18; quais sejam: 1) Formações geológicas e Lineamentos Estruturais, na escala 1:250.000 (MINEROPAR, 2001); 2) Unidades geomorfológicas, na escala 1:250.000 (SANTOS *et al.*, 2006); 3) Limites políticos e infraestrutura, na escala 1:100.000; 4) Rede de Drenagem na escala 1:50.000; 5) Curvas de nível e pontos cotados, igualmente na escala 1:50.000 (ÁGUAS PARANA, 2016).

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Organizado pelos autores (2018) com base em Águas Paraná (2016).

Essas bases foram aplicadas na caracterização geral da área de estudo, na elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) e na sua derivação em parâmetros geomorfométricos: a) Hipsometria, representando classes de altitude; 2) Declividade, estruturada conforme modelo teórico de Horn (1981); 3) Índice de Posição Topográfica, que sendo parametrizado em elementos de relevo constitui o atributo basilar do presente estudo.

Para elaboração de Modelo Digital do Terreno (MDT) se utilizou o interpolador *Topo to Raster*; integrante do módulo *3D Analyst* e *Spatyal Analyst Tools* da plataforma ArcGIS 10.1. Projetado a partir do programa ANUDEM – *Australian National University Digital Elevation Model* (HUTCHINSON, 1988; 1989) baseia-se em algoritmo determinístico (drenagem forçada) que remove reentrâncias, falsas depressões e artefatos, possibilitando livre escoamento superficial, estabelecendo, portanto, superfícies topográficas hidrologicamente consistentes.

Basicamente, o algoritmo calcula diferentes resoluções de grade mediante iterações



por diferenças finitas (método de *Gauss-Seidel*) até atingir a resolução requerida, adquirindo valores iniciais por média das amostras, com os *pixels* sendo atribuídos pelo valor da amostra mais próxima. Os procedimentos para elaboração do MDT perpassam a:

- Aquisição de bases vetoriais em meio digital (ÁGUAS PARANÁ, 2017): pontos cotados, curvas de nível, hidrografia e lagos; e seu recorte no polígono envolvente do setor norte da APA;
- Redefinição de projeção cartográfica: SIRGAS 2000 – Zona 22 Sul;
- Inserção das bases vetoriais no interpolador *Topo to Raster*;
- Metodologia de Hengl (2006) para definição do tamanho do *pixel* ( $p$ ) a partir da relação entre a área do polígono envolvente ( $A$ ) e o comprimento total das curvas de nível ( $l$ ); considerando a totalidade da área para definir o limite da menor resolução (Eq. 1) e amostra dos 5% da área com maior densidade de curvas de nível para estabelecer o limite de maior resolução (Eq. 2), resultando em MDT estruturado por pixels com resolução de 20 x 20 metros:

$$p < \frac{A}{2 \cdot \sum l} \quad (1)$$

$$p > \frac{A(5\%)}{2 \cdot \sum l(5\%)} \quad (2)$$

Conforme mencionado, a classificação de elementos geomorfológicos da área de estudo foi amparada pelo Índice de Posição Topográfica – IPT (*Topographic Position Index – TPI*) (WEISS, 2001), mediante ferramentas de estatística focal e álgebra de mapas nos softwares de SIG mencionados. Podendo utilizar janelas de vizinhança em diferentes formatos (anular, circular, retangular ou irregular) o IPT calcula as diferenças entre valores de um ponto central ( $Z_0$ ) com os valores médios do seu entorno ( $\bar{Z}$ ) (Eq. 3), a partir de raio pré-definido ( $R$ ) (Eq. 4):

$$IPT = Z_0 - \bar{Z} \quad (3)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_i E R^z_i \quad (4)$$

As células de grade com valores idênticos podem remeter-se a contextos geomorfológicos distintos, e a derivação do IPT em formas de relevo necessita considerar a variabilidade de vizinhança existente, mediante valores de Desvio Padrão. De acordo com as



características da área de estudo e objetivos propostos optou-se pela classificação em seis classes, amparando-se, após testes preliminares, em janelas circulares, com diferentes tamanhos de raio, visando uma análise comparativa, validada em campo: 1)  $IPT > 1$  desvio padrão: **Topos e Cristas**; 2)  $IPT > 0,5$  e  $\leq 1$  desvio padrão: **Vertentes superiores**; 3)  $IPT > -0,5$  e  $< -0,5$  desvio padrão; declividade  $< 5^\circ$ : **Vertentes intermediárias**; 4)  $IPT \geq -0,5$  e  $\leq -0,5$  desvio padrão, declividade  $\geq 1^\circ$ : **Áreas planas**; 5)  $IPT \geq -1$  e  $< 0,5$  desvio padrão: **Vertentes rebaixadas**; 6)  $IPT < -1$  desvio padrão: **Vales fluviais**.

Com esta abordagem, foram gerados sete arquivos raster de IPT, a partir de janelas de vizinha circulares com diferentes tamanhos de raio: 3 metros, 5 metros, 10 metros, 15 metros, 20 metros, 25 metros e 30 metros.

### 3. Resultados

Quando contextualizada em unidades fisiográficas homogêneas, a área de estudo está inserida na unidade morfoescultural Segundo Planalto Paranaense, compreendendo as subunidades morfoesculturais Planalto de Irati e Planalto de Ponta Grossa, onde predominam colinas alongadas e cristas controladas por lineamentos (SANTOS *et al.*, 2006).

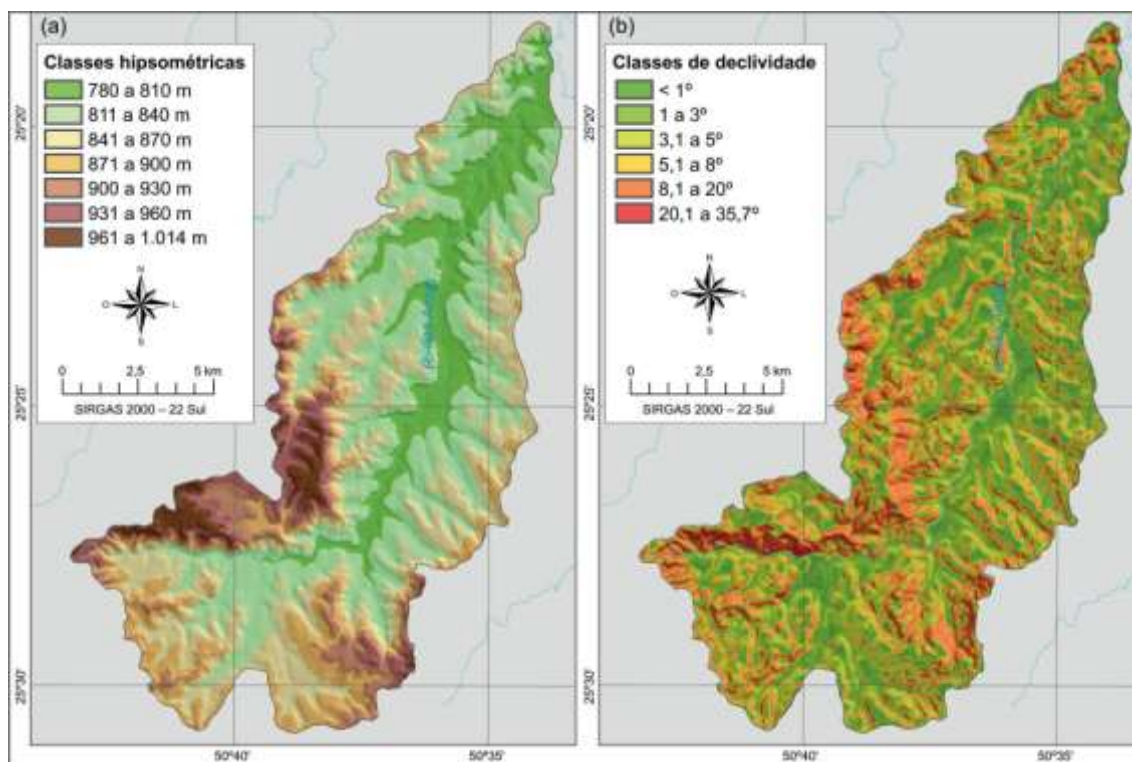
Em termos geológicos, as unidades mencionadas são embasadas por rochas sedimentares do Permiano Médio a Superior, especificadamente da Formação Palermo (siltitos), Formação Serra Alta (lamitos e folhelhos) e da Formação Irati (argilitos e folhelhos pirobetuminosos); e rochas intrusivas básicas do Jurássico-Cretáceo (soleiras de diabásio) no terço superior da bacia, exercendo controle estrutural em cristas e morros – morfologicamente mais dissecados. Considerando a função da rede hidrográfica da bacia, o contexto geológico-geomorfológico ainda é demarcado por sedimentos de deposições fluviais recentes, especialmente na forma de aluviões indiferenciados (MINEROPAR, 2001).

A altitude da área de estudo varia entre 780 a 1.014 metros (Figura 2a), e apesar de possuir amplitude altimétrica baixa (234 metros), evidenciam-se variações abruptas entre a porção oeste, onde estão situados os maiores valores; e o restante da bacia, onde os valores inferiores se distribuem, destacando-se nos locais de incisão fluvial e, especialmente, onde se encontra a planície aluvial do Rio das Antas – setores atribuídos pelos menores valores de altitude.

A Figura 2b consegue demonstrar a predominância de valores baixos de declividade,

com a classe inferior ( $< 1^\circ$ ) correspondente as planícies aluviais e áreas planas. Os valores intermediários (entre  $1,1^\circ$  e  $5^\circ$ ) são inerentes ao terço inferior das vertentes. As classes de declividade superiores, por sua vez, estão distribuídas no terço médio das vertentes, variando entre  $8,1^\circ$  a  $20^\circ$ ; e no terço superior de vertentes abruptas de relevos em cristas controlados por diques de diabásio, ocorrendo à oeste da bacia, na classe que varia entre  $20,1$  a  $35,7^\circ$  de inclinação.

Figura 2 – Parâmetros geomorfométricos primários: Hipsometria (a) e Declividade (b)



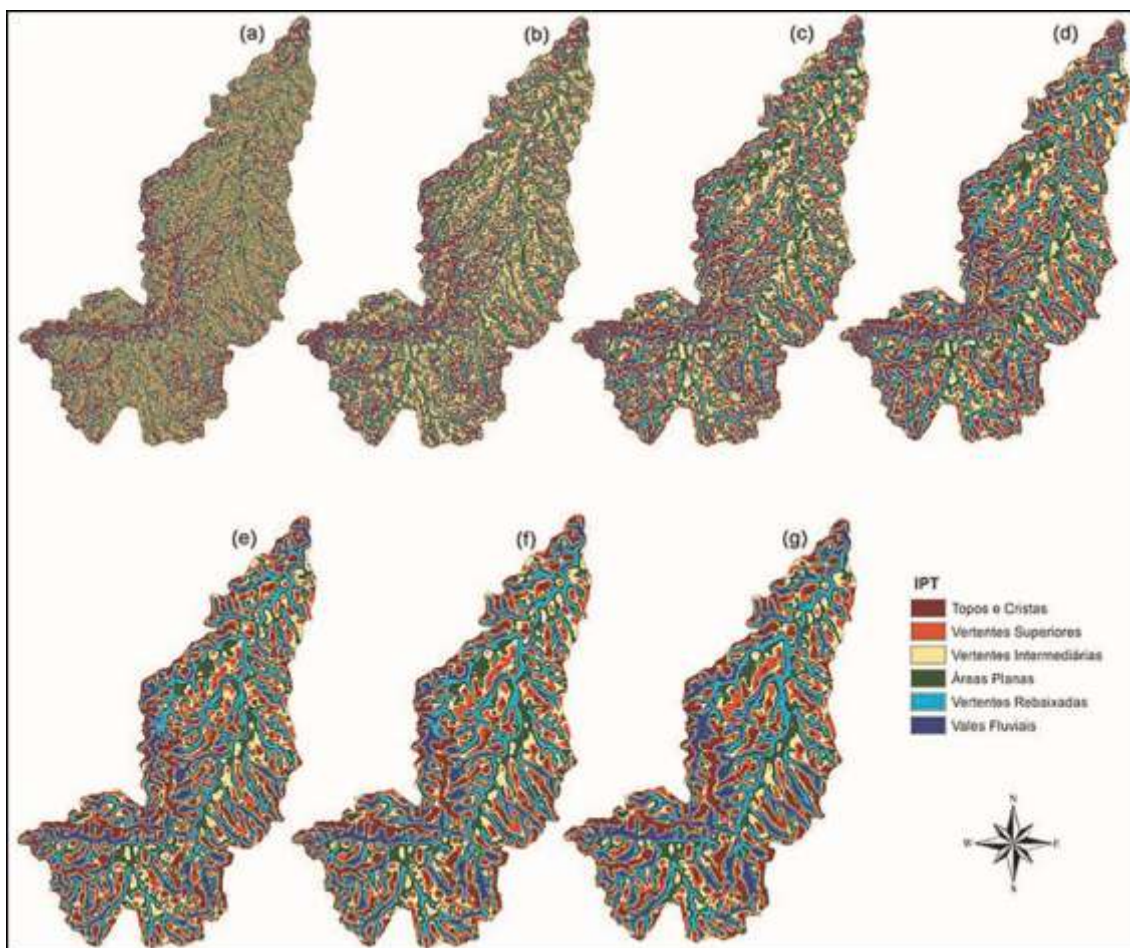
Fonte: Organizado pelos autores (2018) com base em Águas Paraná (2016).

A partir dos atributos derivados do MDT, as técnicas quantitativas possibilitam tanto a análise de diversificados componentes abióticos do meio físico, sob diferentes níveis de integração, quanto para, especificamente, destacar seus elementos geomorfológicos; que no caso da presente pesquisa, apoia-se no Índice de Posição Topográfica (IPT).

Reiterando, foram gerados sete arquivos raster de IPT (Figura 3), a partir de janelas de vizinha circulares de tamanhos diferentes: 3 metros (a), 5 metros (b), 10 metros (c), 15 metros (d), 20 metros (e), 25 metros (f) e 30 metros (g).



Figura 3 – Elementos de relevo derivados obtidos em janela circular com raios de: 3 metros (a), 5 metros (b), 10 metros (c), 15 metros (d), 20 metros (e), 25 metros (f) e 30 metros (g).



Fonte: Os autores (2018).

Em que pese a possibilidade de múltiplas análises com base nestes índices distintos, a análise de campo, que corroborou o conhecimento empírico da área de estudo, indicou que o IPT com janela circular de 15 metros foi a que demonstrou maior correspondência com os elementos de relevo da bacia, sendo, portanto, validado como o IPT definitivo para caracterizar as seis classes mapeadas, cuja correspondência (SIG/Campo) é demonstrada pela Figura 4.

O IPT em dados contínuos compreende valores numéricos que variam entre -34.4 e 44.5, apresentando média de -0.0001 e desvio padrão de 7.2, sendo este último, base para o estabelecimento das classes de elementos geomorfológicos, conforme procedimentos delineados anteriormente. Na Figura 5a são ilustrados o histograma de frequência de valores;

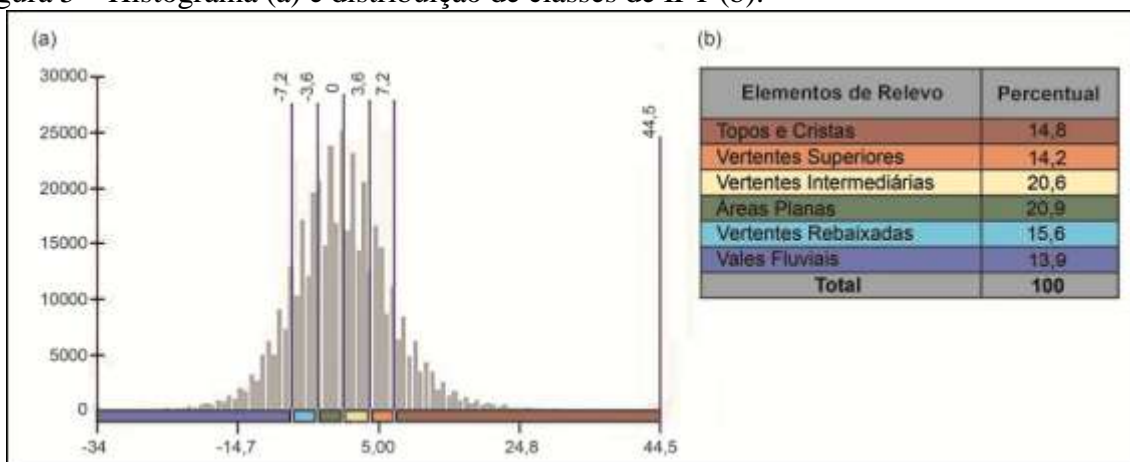
enquanto na Figura 5b o percentual de distribuição de classes de IPT.

Figura 4 – Fotografia ilustrativa das formas de relevo interpretadas em campo. A – Topos e Cristas; B – Vertentes superiores; C – Vertentes intermediárias; D – Áreas Planas; E – Vertentes rebaixadas; E – Vales Fluviais.



Fonte: Os autores (2018).

Figura 5 – Histograma (a) e distribuição de classes de IPT (b).



Fonte: Os autores (2018).

Os componentes do relevo com maior extensão são designados como *Áreas Planas* (20,9%), agregando colinas baixas, minimamente dissecadas, e planícies aluvionares. Nesta



classe, como complementação geomorfológica, foram sobrepostos valores de declividade inferiores à 1°.

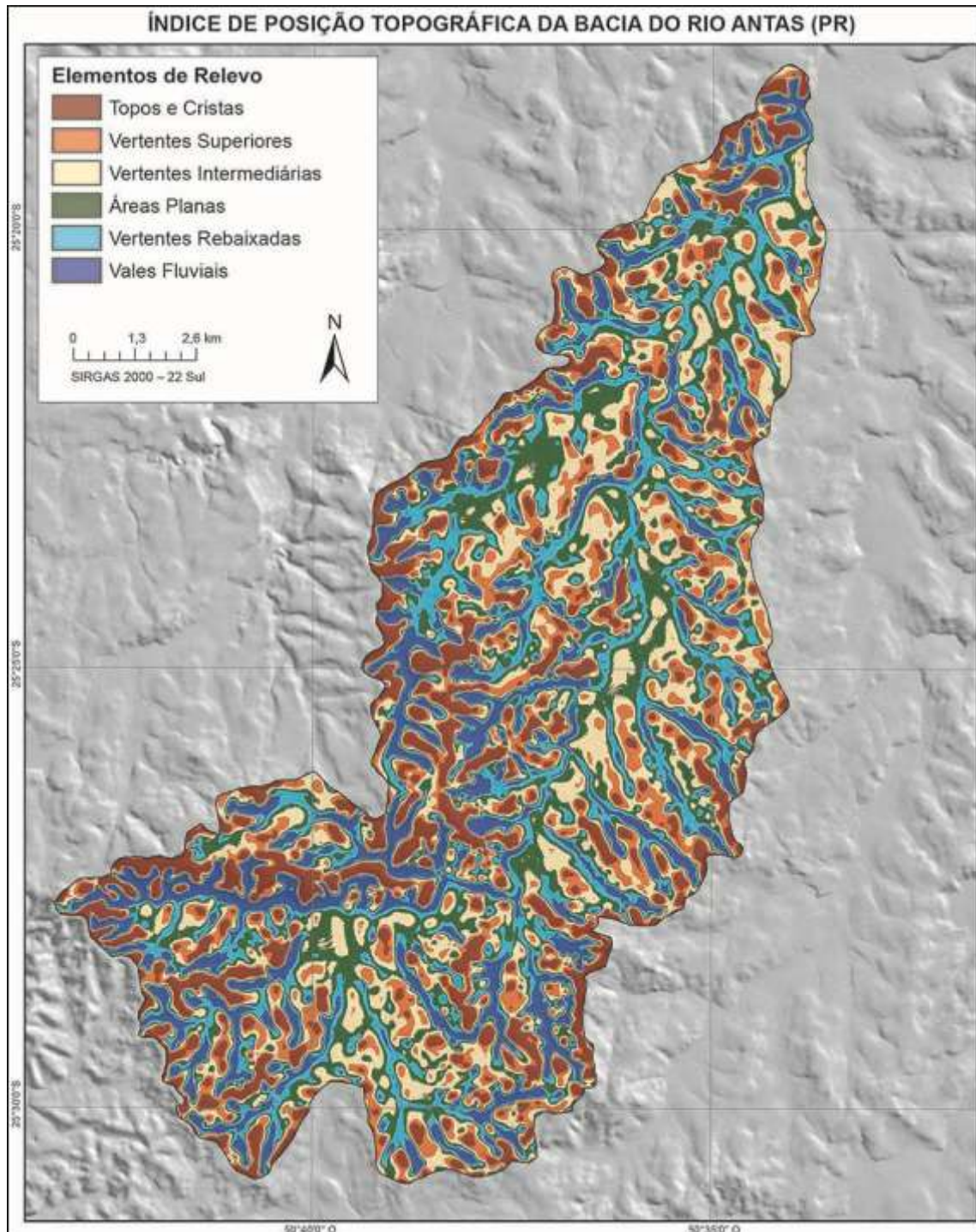
As formas com menor extensão são denominadas Vales Fluviais (13,9%) abrangendo, especificamente, vales fluviais abertos ou encaixados, que em alguns casos são contíguos se interpretados com base na intercalação entre setores determinados por lineamentos e sua abertura quando entrecruzam, gradualmente, as formas de relevo em colinas.

Os valores numéricos determinados pelo IPT discriminam as vertentes em três subunidades: *Vertentes Superiores* (14,2%), *Vertentes Intermediárias* (20,6%) e *Vertentes Rebaixadas* (15,6%), sendo as duas primeiras correspondentes às posições do terreno que apresentam média ou alta dissecação; enquanto a última restrita às adjacências de áreas planas ou quase planas.

A classe *Topos e Cristas* (14,8%) é atribuída por valores de altitude mais elevados, e representam a posição superior de: cristas controladas por lineamentos estruturais, morros e colinas mais dissecadas, constituídas por vertentes com maior declividade.

A representação cartográfica do IPT gerado a partir de janela de vizinhança de 15 metros, validado em campo e anteriormente descrito, é representada pela Figura 6, sintetizando os resultados do trabalho.

Figura 6 – Índice de Posição Topográfica da Bacia do Rio das Antas validado em campo.



Fonte: Os autores (2018).

#### 4. Conclusões

- Em uma abordagem quantitativa o Índice de Posição Topográfica (IPT) consegue



representar o relevo em um nível analítico mais detalhado, e elementos geomorfológicos passam a ser compreendidos por meio de sua continuidade e conectividade espacial. Ainda, torna possível a categorização de elementos de relevo de acordo com suas respectivas proporções e pela sua configuração estrutural e escultural.

- Havendo a possibilidade de aquisição de dados com graus de generalização distintos, no caso da Bacia do Rio das Antas, o IPT que mostrou maior correspondência com a interpretação de campo foi aquele gerado com janela de vizinhança de formato circular com 15 metros de raio. Sendo assim, há que se destacar a importância dos trabalhos de campo e amplo conhecimento das particularidades de uma área de interesse, visando a validação empírica das informações modeladas em ambiente SIG.
- Considerando a ampla diversidade de fontes de dados, algoritmos de SIG e possibilidades de análise espacial, são necessárias, oportunamente, análises comparativas entre distintas fontes de dados geomorfométricos, análises estatísticas e algoritmos de SIG potencialmente aplicáveis na quantificação e classificação do relevo, assim como de outros atributos abióticos do meio físico.

## Referências

- ÁGUAS PARANÁ - Instituto das Águas Do Paraná. **Mapas e Dados Espaciais**. Disponível: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>. Acesso: 5 ago. 2017.
- DIKAU, R. Geomorphic landform modeling based on hierarchy theory. In: BRASSEL, K.; KISHIMOTO, H. (Eds.). **Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling**. Department of Geography, University of Zürich, Switzerland, p.230-239, 1990.
- HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences**, n.32, p.1283-1298, 2006.
- HORN, B.K.P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, n.69, v.1, p.14-47, 1981.
- HUTCHINSON, M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: **Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney**, Australia, 1988.
- HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, n.106, p.211-232, 1989.



MACMILLAN, R.A.; JONES, R.K.; MCNABB, D.H. Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using Digital Elevation Models (DEMs). **Computers, Environment and Urban Systems**, n.28 (3), p.175-200, 2004.

MACMILLAN, R.A.; SHARY, P.A. Landform and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T.; REUTER, H.I. (Eds.) **Geomorphometry – Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science, v.33, Amsterdam: Elsevier, p.227-254, 2009.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. 2001. Disponível: <[www.mineropar.gov.br](http://www.mineropar.gov.br)>. Acesso: 10 dez. 2017.

PIKE, R.J. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, n.24:1, p.1-20, 2000.

RASEMANN, S.; SCHMIDT, J.; SCHROTT, L.; DIKAU, R. Geomorphometry in mountain terrain. In: BISHOP, M.P.; SHRODER, J.F. (Eds.). **GIS & Mountain Geomorphology**. Springer, Berlin, p. 101-145, 2004.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.2 (7), p.03-12, 2006.

TOBLER, W.R. The development of analytical cartography – a personal note. **Cartography and Geographic Information Science**, n.27 (3), p.189-194, 2000.

WEISS, A. Topographic Position and Landforms Analysis – Poster presentation. **ESRI User Conference**, San Diego, CA, 2001.