

Modelado topográfico en Sistemas de Información Geográfica a partir de datos SRTM para aplicación en estudios del medio físico

Topography model in Geographical Information Systems from SRTM database for use in environment studies

Viviana Aguilar Muñoz¹, Márcio de Morisson Valeriano²

Para citar este artículo: Aguilar-Muñoz, V. & de Morisson-Valeriano, M. (2015). Modelado topográfico en Sistemas de Información Geográfica a partir de datos SRTM para aplicación en estudios del medio físico. *UD y la Geomática*, 10, 5-12

Fecha de recepción: 23 de marzo de 2015

Fecha de aceptación: 01 de diciembre de 2015

RESUMEN

El relieve puede ser utilizado como indicador en el mapeo ambiental, una vez que se halla estrechamente vinculado con la distribución de recursos naturales como el agua, substrato geológico, suelo, iluminación solar y vegetación. En sistemas de información geográfica, el relieve puede ser interpretado como el conjunto de propiedades geométricas de la superficie de la tierra, posibles de ser modeladas por procesamiento digital de datos de elevación. En esta línea de investigación, el dato a partir del cual se calculan las diversas propiedades del relieve es, esencialmente, el modelo de elevación digital (MED), cuyas fuentes pueden ser diversas en cuanto a la forma de levantamiento topográfico y de preparación del modelo. Comparados con datos de otras variables ambientales se observa que, en la actualidad, es común disponer de datos de relieve con mayor facilidad, menor costo, mayor variedad de escalas y con más amplia cobertura espacial; este hecho, aunado a su carácter indicador, potencializa la utilidad del relieve como recurso indispensable al mapeo de variables ambientales. En este artículo se presentan resultados del desarrollo de algoritmos para el modelado del relieve, a partir de datos de elevación obtenidos de la misión de levantamiento topográfico por radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) y de su aplicación para mapeo de variables ambientales en el Brasil.

Palabras clave: Geomorfometría, modelado y mapeo de variables ambientales, SRTM, variables topográficas.

ABSTRACT

Topography can be used as an indicator in environmental mapping, once it is closely linked to the nature of distribution: such as water resources, geological substrate, soil, solar lighting and vegetation. In Geographical Information Systems, the topography can be interpreted as the set of geometric properties of the earth surface, it can be patterned by digital processing of elevation data. In This way, the data for get various topography properties are essentially the digital elevation models (DEM). Sources of DEM are diverse and vary by surveying method and preparing model. Compared with Data from other environmental variables it is noted that, at present, it is common to have easier terrain data, lower cost, greater variety of spatial scales and wider coverage. This fact, coupled with its properties of indicator, potentiates the usefulness of the relief as an essential resource to mapping environmental variables. In this article will show algorithms for topography modeling and examples of environmental mapping in Brazil. For this work was used the elevation data base from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Key words: Geomorphometry, environmental mapping, environmental modeling, SRTM, topography variables.

- 1 Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, Cemaden Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. CEP:12.247-016. Correo Electrónico: viaguila@gmail.com, viviana.cemaden@gmail.com
- 2 Instituto nacional de pesquisas espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. CEP: 515-12201-970, Correo Electrónico: valerian@dsr.inpe.br

RESUMO

O relevo pode ser utilizado como indicador no mapeamento ambiental, uma vez que está vinculado à distribuição de recursos como água, substrato geológico, solo, iluminação solar e vegetação. Em ambiente computacional, o relevo pode ser interpretado como o conjunto de propriedades geométricas da superfície da terra, passíveis de serem modeladas por processamento digital de dados de elevação. Nesta linha de pesquisa, o dado a partir do qual se calculam as diversas propriedades do relevo é, essencialmente, o modelo digital de elevação (MDE), cujas fontes podem ser diversificadas quanto à forma de levantamento topográfico e de preparação do modelo. Se comparados com dados de outras

variáveis ambientais observa-se que, na atualidade, é comum dispor de dados de relevo com maior facilidade, menor custo, maior variedade de escalas e com mais ampla cobertura espacial. Isto, junto a seu caráter indicador, potencializa a utilidade do relevo como recurso indispensável ao mapeamento de variáveis ambientais. Neste artigo apresentam-se resultados preliminares do desenvolvimento de algoritmos para a modelagem do relevo, a partir de dados de elevação obtidos da missão de levantamento topográfico por radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), e de sua aplicação em mapeamento de variáveis ambientais no Brasil.

Palavras-chave: Geomorfometria, modelagem e mapeamento de variáveis ambientais, SRTM, variáveis topográficas.

Introducción

El relieve es un componente primordial para el estudio del medio físico, puesto que se encuentra estrechamente relacionado con la distribución en superficie de los otros aspectos que constituyen el paisaje natural, como: geología, geomorfología, clima o suelo. El relieve es un factor forzante en la distribución vegetal, debido a que condiciona la distribución de recursos indispensables para el desarrollo de la vida, por ejemplo, nutrientes, luz, temperatura y agua (Guisan and Zimmermann 2000). Una vez que resulta del modelado de la superficie por procesos ambientales complejos que ocurren en varias escalas espacio-temporales, el relieve es un indicador potencial de unidades ambientales homogéneas (Dikau 1990), que en ambiente SIG y de tratamiento de imágenes pueden ser llamadas “clases” del paisaje y en cartografía temática “unidades de mapeo”.

En la actualidad es común disponer de datos del relieve obtenidos a partir de diversas fuentes, con mayor facilidad, variedad de escala, menor costo y mejor cobertura territorial que de otros datos ambientales. Esta disponibilidad ha motivado desarrollos en modelado del relieve. Una consecuencia inmediata de estos desarrollos es que investigaciones que envuelven el mapeo de variables ambientales como suelos, geología, geomorfología, vegetación o clima son beneficiadas al incorporar en sus metodologías la variable topografía.

El concepto “geomorfometría” surge en esa línea de investigación y se refiere a la medida de las propiedades geométricas de la superficie. La ciencia geomorfométrica se establece como respuesta a la demanda de modelos topográficos en ambiente digital para estudios ambientales, heredando conocimientos de otras ciencias como la matemática, los sistemas y la geomorfología. En ese contexto, las propiedades geométricas de la superficie han sido referenciadas con términos como “variable”, “parámetro”, “descriptor”, “atributo”, entre otros. Algunos clasifican a las

variables topográficas como primarias (si fueron obtenidas a partir de la altitud), secundarias o índices (si obtenidas por la combinación de dos o más variables primarias), locales (si la base para su cálculo fuera dentro de un pequeño radio de distancia) o regionales (si la base para su cálculo considera radios de distancia mayores a la vecindad) (Wilson and Gallant, 2000; Shary, *et al.*, 2002; Olaya, 2009; Pike, *et al.*, 2009).

El dato a partir del cual se calculan las diversas propiedades del relieve es, esencialmente, el modelo de elevación digital (MED). Este tipo de dato puede ser obtenido por diversas técnicas, como topografía de campo, percepción remota o restitución fotográfica, por mencionar algunas. Los MED son archivos digitales, estructurados en formato matricial (líneas y columnas) y referenciados a su posición geográfica, de la misma forma que imágenes de percepción remota (Burrough and McDonnell 1998). Su tratamiento es realizado a través de recursos como sistemas de información geográfica (SIG), paquetes para procesamiento estadístico o software para modelado de superficies 3D.

Entre los modelos de elevación actualmente disponibles el MED de la misión de levantamiento topográfico por radar satelital *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), representó un avance de gran impacto para la comunidad científica internacional, debido a su cobertura espacial (casi global: todas las latitudes menores de 60°, la mejor cobertura planetaria hasta hoy), al acceso libre a través de internet, a su resolución (90m) y al buen desempeño del modelo (para Sur América, en el 90% de los datos: error absoluto de localización de 9m, error absoluto de altitud 6,2m y error relativo de altitud de 5,5m) (Rodríguez, *et al.*, 2006; Farr *et al.*, 2007). Tanto el equipo técnico de la misión SRTM como otros investigadores alrededor del mundo han indicado que el MED-SRTM responde a la calidad cartográfica exigida para escalas entre 1:100.000 y 1: 250.000 (Rabus, *et al.*, 2003, Zandbergen, 2008). A partir de este producto fue desarrollado el proyecto Topodata, que tuvo por objetivo colocar a disposición de un amplio abanico de

usuarios un modelo de resolución más fina (30m) de todo el territorio brasileiro, además de un conjunto de variables topográficas locales, en un banco de datos disponible en internet con acceso gratuito (INPE, 2008; Valeriano and Albuquerque, 2010; Valeriano and Rossetti, 2012).

Presentamos en este artículo resultados preliminares del desarrollo de algoritmos para modelado geomorfométrico de la superficie topográfica. Entre los productos presentados está una metodología específica para el cálculo de variables topográficas regionales y su aplicación en mapeo de variables ambientales en el Brasil: suelos (São Carlos, São Paulo), cobertura vegetal (Pantanal, Mato Grosso) y planicies de inundación (cuenca del río Itajaí, Santa Catarina) (Muñoz, 2009; Muñoz and Valeriano, 2013; Muñoz, 2014). Otros trabajos, que no serán presentados aquí, demostraron que estas variables regionales son útiles también para mapeo de la distribución forestal (Amazonas), mapeo geológico (Cuenca Paraíba) y análisis de cuencas hidrográficas (Santa Catarina) (Bispo, 2012, Andrades Filho, *et al.*, 2013; Muñoz, 2013). Nuestro propósito de investigaciones futuras incluye la evaluación de esta metodología en diferentes ambientes geomorfológicos del territorio brasileiro, a fin de consolidar el algoritmo de extracción de variables topográficas regionales.

Material y métodos

Los algoritmos para modelado de la superficie topográfica presentados en este trabajo se basan en la conceptualización matemática de cinco características del relieve regional: altura topográfica, amplitud del relieve, índice

elevación-relieve, predominancia topográfica y profundidad de la disecación, presentes en la Tabla 1.

La implementación de estos modelos matemáticos en ambiente SIG se basa en la utilización del concepto de ventanas móviles; tales ventanas deben tener el tamaño suficiente para extraer información del relieve regional a partir de información de altitud, cuya fuente es un MED. El tamaño de ventana que hasta ahora generó resultados más útiles a las aplicaciones propuestas por nuestra investigación (mapeo de variables ambientales de expresión regional) es 27 x 27 píxeles, cuando el tamaño del píxel es 30m. En este trabajo hemos utilizado el MED disponible en Topodata. El proceso de extracción de variables consiste básicamente en tres etapas, como se observa en la Figura 1: (i) relocalización de todas las cotas de elevación (considerando ocho direcciones cardinales) para un píxel central; (ii) comparación de estos productos, inclusive el MDE (píxel central no relocalizado) para identificación de los valores máximo, medio y mínimo de la altitud; y (iii) aplicación de operaciones aritméticas para obtener cada variable, conforme conceptos y modelos presentados en la Tabla 1.

El recurso computacional utilizado para implementar los algoritmos fue el lenguaje *Idrisi Macro File*, IML (Clark Labs, 2000). Presentamos en este artículo algunos resultados obtenidos con la metodología propuesta, además de su aplicación en: (i) mapeo de suelos (São Carlos, São Paulo), (ii) mapeo de biomasa (Pantanal, Mato Grosso) y mapeo de planicies de inundación (cuenca de Itajaí, Santa Catarina). El mapeo a partir de datos topográficos está basado en técnicas de clasificación como, por ejemplo, la técnica booleana que permite separar las clases “ocurre” y

Tabla 1. Conceptos y modelos para el cómputo de variables topográficas regionales

Variable	Concepto	Modelo
Altura topográfica	Distancia vertical entre un punto en la superficie topográfica y su proyección en una superficie de elevaciones mínimas.	$A = Z - Z_{\min}$
Amplitud del relieve	Distancia vertical entre un punto sobre una superficie de elevaciones máximas y su proyección en una superficie de elevaciones mínimas.	$I = Z_{\max} - Z_{\min}$
Índice elevación-relieve	División entre la distancia vertical medida desde un punto en una superficie de elevaciones medias hasta su proyección en otra de elevaciones mínimas y la amplitud del relieve.	$E = \frac{Z_{\text{med}} - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}}$
Predominancia topográfica	Distancia vertical desde un punto sobre la superficie topográfica y su proyección en una superficie de elevaciones medias.	$P = Z - Z_{\text{med}}$
Profundidad de la disecación	Distancia vertical entre un punto sobre una superficie de elevaciones máximas y su proyección sobre la superficie topográfica.	$D = Z_{\max} - Z$

Fuente: Muñoz y Valeriano (2013).

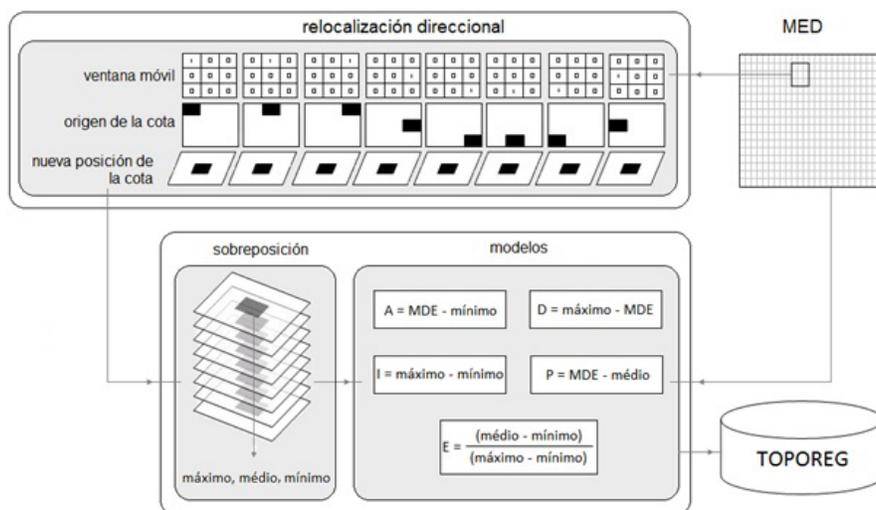


Figura 1. Metodología para obtención de variables topográficas regionales en SIG: altura (A), profundidad de la disecación (D), amplitud del relieve (l), predominancia topográfica (P) e índice elevación-relieve (E). El nombre Toporeg se refiere al banco de datos de variables regionales resultante de este procesamiento.

Fuente: Muñoz (2014).

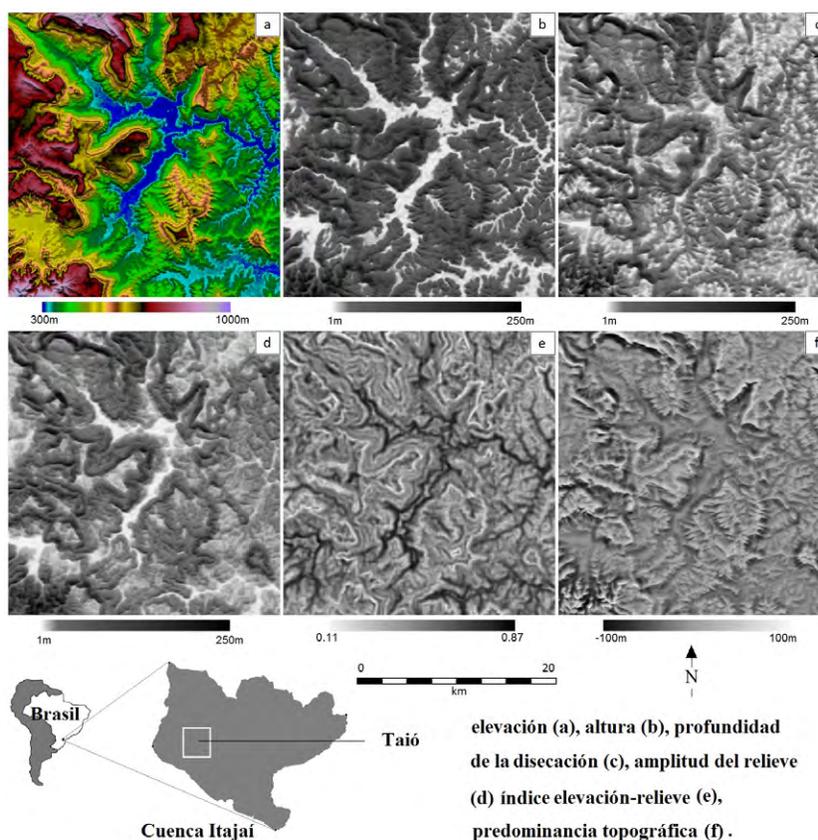


Figura 2. Detalle de variables topográficas regionales en la cuenca de Itajaí, Santa Catarina, Brasil, obtenidas a partir de la metodología propuesta en este trabajo.

Fuente: Muñoz (2014).

“no ocurre”. La evaluación de los resultados estuvo basada en análisis comparativos entre variables topográficas regionales y cartografía temática (suelos, vegetación, planicies), por métodos cualitativos (fotointerpretación) y cuantitativos (análisis estadísticos basados en muestreo extensivo), entre los que se destaca la comparación entre áreas para selección de límites correctos de clases booleanas. Para los análisis estadísticos fue utilizado el paquete *R-statistics* (R Core Team 2013). Más detalles sobre los procesos de evaluación pueden ser consultados en Muñoz (2009), Muñoz *et al.* (2013) y Muñoz (2014).

Resultados y discusión

Con el objetivo de ejemplificar el aspecto gráfico de las variables topográficas regionales, en la Figura 2 se presenta un detalle de cada uno de los productos del banco de datos Toporeg, obtenidos para la cuenca del río Itajaí (Santa Catarina) por la metodología que proponemos.

Cuando evaluados en relación a su utilidad para mapeo de variables ambientales, cada uno de estos aspectos topográficos reveló un potencial particular. Destacamos aquí, entre otras observaciones, que: (i) la predominancia topográfica es una buena indicadora de diferentes tipos de suelo, (ii) que la altura topográfica es muy eficiente

para delimitar planicies de inundación y (iii) en áreas muy planas la altura topográfica está estrechamente relacionada con la altura del dosel de los árboles, por consiguiente, en ambientes como el pantanal brasileiro esta variable es útil para estimativas de biomasa (Figuras 3, 4 y 5).

Nótese que estos resultados fueron obtenidos por el procesamiento digital de datos de elevación con resolución 30m, derivados de MED de 90m. Esto significa que la calidad cartográfica debería corresponder, como máximo, a la calidad del dato original de 90m. Las evaluaciones de calidad de nuestros productos indicaron que su precisión responde a exigencias cartográficas de escalas entre 1:100.000 y 1:250.000 (Muñoz, 2014), este resultado es compatible con lo que fuera verificado para el dato SRTM por reconocidos grupos de investigación en otros lugares del mundo (Rabus, *et al.*, 2003; Zandbergen 2008).

Destacamos que las planicies de inundación mapeadas a partir de clasificación booleana de la altura topográfica se ajustaron muy bien a mapas preexistentes de áreas inundables. Al sobreponer cartografía de área construida a los mapas de planicie, observamos que la población en la cuenca hidrográfica del río Itajaí está peligrosamente expuesta a inundaciones, lo que viene a ser verificado por registros históricos y de la defensa civil en esa región (Muñoz, 2014).

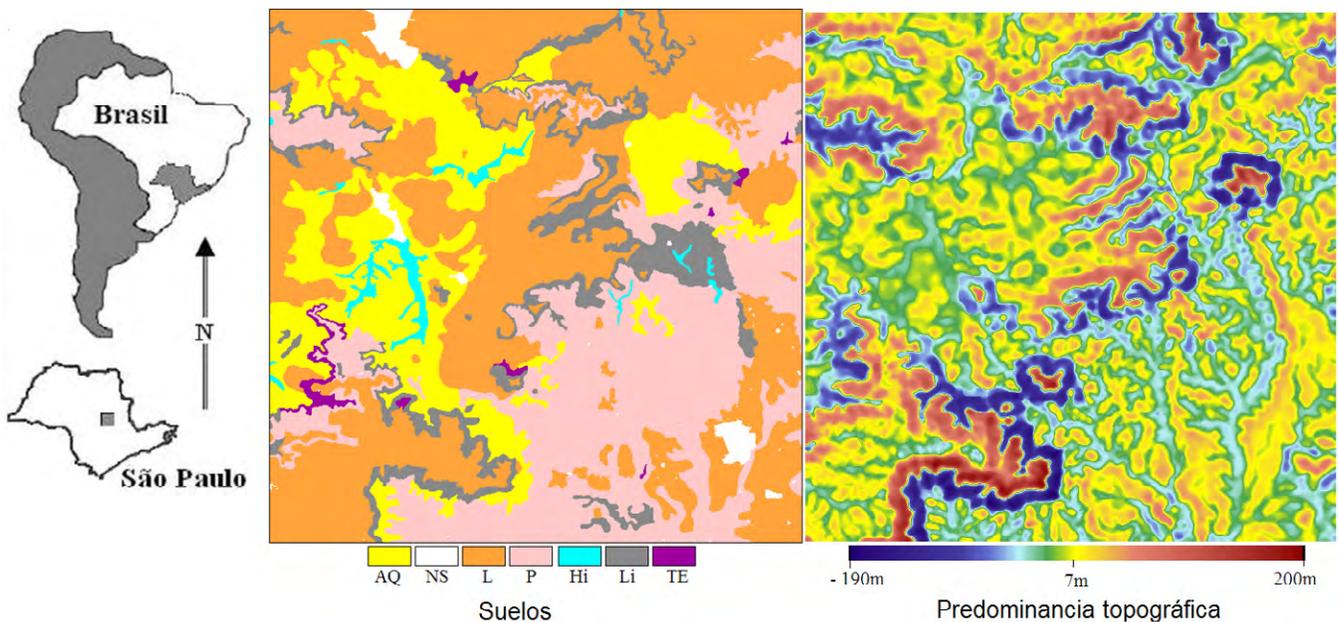


Figura 3. Comparación entre mapa de suelos y modelo de la predominancia topográfica obtenido para la misma área. Suelos, por sus nombres en portugués: *Areias quartzosas* (AQ), *Latossolos* (L), *Podzólicos* (P), *Hidromórficos* (Hi), *Litólicos* (Li) y *Terra Roxa Estruturada* (TE).

Fuente: Muñoz (2009).

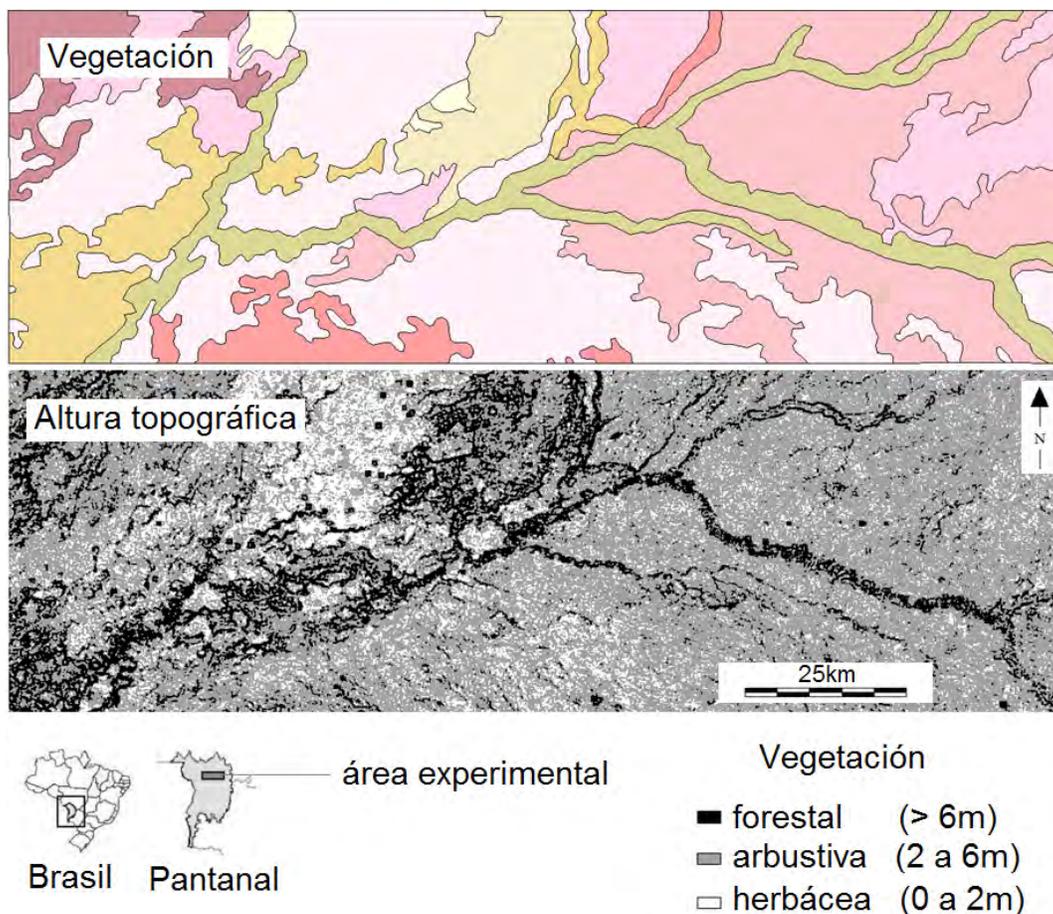


Figura 4. Cobertura vegetal obtenida por clasificación de la altura topográfica en un área experimental del Pantanal, Mato Grosso, Brasil.

Fuente: Muñoz *et al.* (2013).

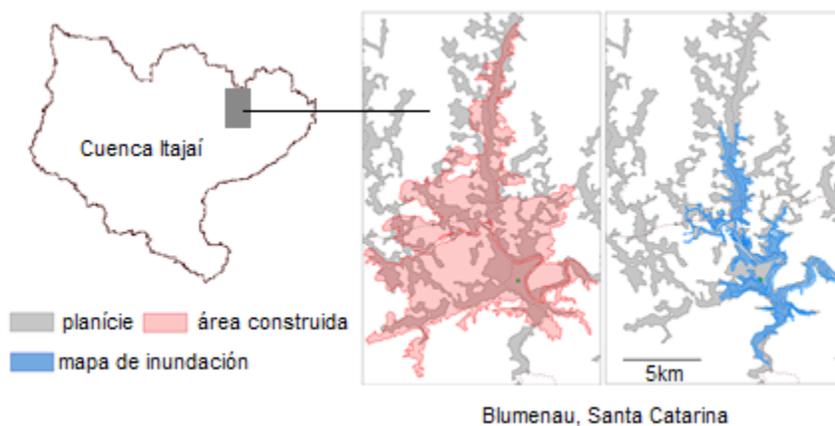


Figura 5. Detalle de mapa de planicies de inundación obtenido por clasificación booleana de la altura topográfica, región Blumenau, cuenca del río Itajaí.

Fuente: Muñoz (2014).

Conclusiones

Se presentaron resultados preliminares, más también promotores, de una metodología propuesta para modelado del relieve, que utiliza como dato de entrada la elevación obtenida de MED y que tiene por objetivo auxiliar el mapeo de variables ambientales en SIG. Dicha metodología está en desarrollo y todavía será evaluada, tanto en sus aspectos conceptuales como en sus aplicaciones, así como por la utilización de modelos alternativos al MED-SRTM. De los productos obtenidos en el procesamiento derivarán, naturalmente, nuevas perspectivas y demandas para su aplicación, visto que la oferta reciente de datos de elevación de cobertura global aún carece de elaboraciones específicas para atender de forma apropiada a demandas en estudios del medio físico. Se torna razonable suponer, por lo tanto, que ejemplos de atendimento a estudios específicos del medio físico con énfasis en procesos de elaboración de la componente topográfica deben ser desarrollados y diseminados.

Agradecimientos

Esta investigación contó con el apoyo del *Ministério de Relações Exteriores* (MRE), del gobierno brasileiro, por intermedio del *Departamento de Cultura* (DC), de la *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (Capes) y del *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (Cnpq), a través del *Programa de Estudantes-Convênio de Pós-graduação* (Pec-pg). Los autores agradecen al *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (Inpe), por el apoyo institucional y financiero en las iniciativas de difusión de este trabajo.

Referencias

Andrades, C., Rossetti, D., Bezerra, F., Cremon, E. and Muñoz, V. (2013). Geomorfometria e geofísica aplicadas à discriminação de unidades sedimentares na Bacia Paraíba, nordeste do Brasil. In *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16. (SBSR), Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE. DVD, Internet. Recuperado de <http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GL4S>

Bispo P. (2012). *Efeitos da geomorfometria na caracterização florístico-estrutural da Floresta Tropical na região de Tapajós com dados SRTM e PALSAR*. Tese, Doutorado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Recuperado de <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3C34QC8>

Burrough, P. and McDonnell, R. (1998). *Principles of geographical information systems*. 1.ed. New York: Oxford University Press.

Clark Labs. IDRISI 32 Version I32.02. Idrisi Source Code ©1987-2000 J. Ronald Eastman. Idrisi Production ©1987-2000 J. Clark University. Recuperado de www.clarklabs.org

Dikau, R. (1990). The application of a digital relief model to landform analysis. In Raper J. (Ed.) *Three dimensional applications in geographical information systems* (pp. 51-77). London: Taylor & Francis.

Farr, T., Rosen, P., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodríguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J. and Umland, J. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys*, 45, 43p. Doi:10.1029/2005RG000183.

Guisan, A. and Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2008). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais*. São José dos Campos: INPE. Recuperado de <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

Muñoz, V. (2009). *Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo*. (INPE-15796-Tdi/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Recuperado de <http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/352GPK2>

Muñoz, V., Valeriano, M. and Bispo, P. (2013). Surveying the topographic height from SRTM data for canopy mapping in Brazilian Pantanal. *Geografia (Rio Claro)*, 38, 139-155.

Muñoz, V. A. and Valeriano, M. (2013). Mapping of floodplain by processing of elevation data from Remote Sensing. In Pardo-Igúzquiza E., Guardiola-Albert C., Heredia J., Moreno-Merino L., Durán J. J. and Vargas-Guzmán J. A. (Eds.). *Mathematics of Planet Earth: Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences* (pp.481-484). Berlin: Springer-Verlag. part XV. Quantitative hydrology: working across scientific disciplines and time-space scales.

Muñoz, V. (2014). *Mapeamento de planícies de inundação a partir de dados SRTM: contribuição para análise da exposição a inundação na bacia do rio itajaí. versão: 2014-07-01*. Tese Doutorado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Recuperado de <http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G5LL8E>

Olaya, V. (2009). Basic land-surface parameters. In T. Hengl and H. I. Reuter (Eds.). *Geomorphometry: concepts, software, applications* (pp. 141-169). 1. ed. Oxford: Elsevier B.V.

Pike, R., Evans, I. and Hengl T. (2009). Geomorphometry: A Brief Guide. In T. Hengl and H. I. Reuter (Eds.).

- Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (pp.3-30). Oxford: Elsevier B.V.
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing, v. 3.0.2. The R Foundation for Statistical Computing*. Vienna. Recuperado de www.R-project.org
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R. (2003). The Shuttle Radar Topography Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 57(4), 241-262.
- Rodríguez, E., Morris, C. and Belz, J. (2006). A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 249-260.
- Shary, P., Sharaya, L. and Mitusov, A. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107, 1-32.
- Valeriano, M. y Albuquerque, P. (2010). *Topodata: processamento dos dados SRTM*. São José dos Campos: INPE. Recuperado de <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37FCH9B>>
- Valeriano, M. and Rossetti, D. (2012). Topodata: Brazilian full coverage refinement of Srtm data. *Applied Geography*, 32, 300-309.
- Wilson, J. and Gallant, J. (2000). Digital terrain analysis. In J. Wilson and J. Gallant (Eds.). *Terrain analysis: principles and applications* (pp. 1-27). 1ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Zandbergen, P. (2008). Applications of Shuttle Radar Topography Mission Elevation Data. *Geography Compass* 2(5). p1404–1431. Doi: 10.1111/j.1749-8198.2008.00154.

