Método aplicado em Modelos Digitais de Elevação para a delimitação semiautomática de bacias de drenagem glacial na Península Antártica

Rafael Rechia Andrada [1]
Marcos Wellausen Dias de Freitas [1]

[1] Laboratório de Monitoramento da Criosfera – LaCrio/FURG
Av. Itália, Km 8 Bairro Carreiros - 96203900 – Rio Grande - RS, Brasil
rafarechia@gmail.com; marcoswfreitas@gmail.com

Abstract: This paper presents the method developed for semiautomatic delineation of glacial drainage basins of the Antarctic Peninsula from Digital Elevation Models (DEM). We use the *Antarctic Peninsula 100m Digital Elevation Model Derived from ASTER GDEM* (APGDEM) and Quantum GIS algorithms (QGIS). Procedures as the removal of sinks, setting a threshold for the catchment area with the algorithm *Digital Elevation Model Networks* (DEMON), eliminating overestimated data, smoothing of vectors with the *Snakes algorithm* and clustering sub basins were used. As a result, were delimited in semiautomatic form about 45 glacial drainage basins of the study area, the method developed proved effective for delineation of glacial drainage basins of the Antarctic Peninsula and can be applied to the delimitation of glaciers in other regions of the planet , contributing to studies related to monitoring the Cryosphere.

Palavras-chave: Digital Elevation Model, Antarctic Peninsula, Glaciers delineation, Modelo Digital de Elevação, Península Antártica, Delimitação de Geleiras.

1. Introdução

A Península Antártica (PA) registrou o maior aumento das temperaturas nas últimas décadas em todo o planeta (Chwedorzewska, 2009), aproximadamente 2,5°C nos últimos 50 anos (Turner et al., 2005), tendo como consequência o registro de diversos eventos indicadores de alterações climáticas (Arigony-Neto, 2006).

As geleiras da PA sofrem na atualidade uma mudança na sua condição de equilíbrio e perda de massa (Arigony-Neto, 2006). Esse desequilíbrio é devido ao aumento da temperatura do ar superficial, o que resulta em fenômenos como a retração, ablação e aceleração do fluxo de geleiras locais (Cook et al., 2005). Com o aumento da temperatura e a diminuição das camadas de neve e gelo, menor será o albedo e maior será a quantidade de radiação absorvida pela superfície, o que pode resultar no aquecimento regional. Logo, alterações nesses sistemas poderão contribuir significativamente com o aumento do nível médio dos mares em escala global.

Devido aos diversos eventos indicadores de mudanças climáticas ocorridos na PA, há a necessidade de se obter uma maior quantidade de dados sobre as geleiras desta região. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto é amplamente utilizado em estudos sobre as geleiras no continente Antártico, principalmente na região da PA, onde as condições para trabalhos de campo demandam altos custos logísticos (Ahlert e Simões, 2004).

Este trabalho tem como objetivo delimitar de forma semiautomática bacias de drenagem glacial em uma área teste para a região da PA utilizando como dado base o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Antarctic Peninsula 100m Digital Elevation Model Derived from ASTER GDEM* (APGDEM) e algoritmos do software livre Quantum GIS (QGIS).

2. Área de Estudo

Uma área específica da Península Antártica foi selecionada para testes. Esta se situa entre 64°S 61°W e 65°S 58°W (Figura 1), e foi escolhida devido à presença de geleiras com diferentes características morfológicas, sendo bastante representativa para o desenvolvimento da metodologia proposta.

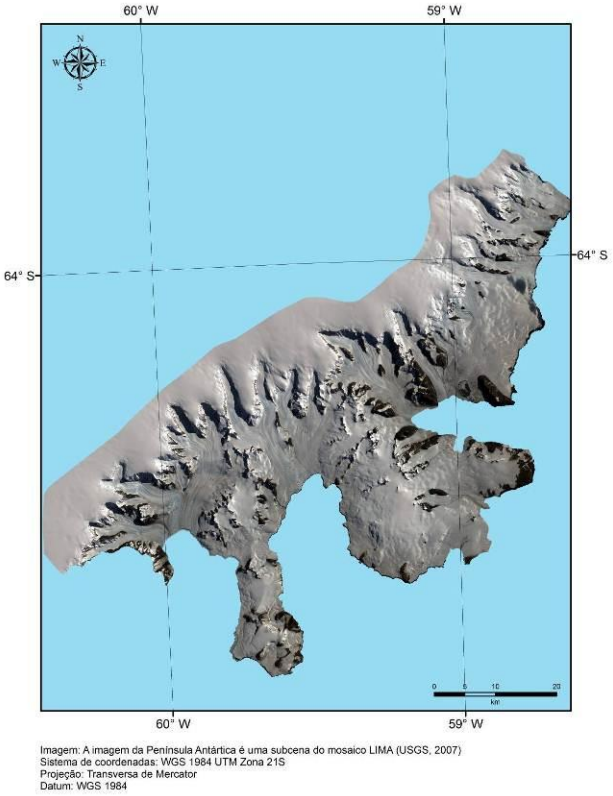

Figura 1: Mapa de localização do recorte área teste elaborado a partir de uma subcena do mosaíco LIMA (USGS, 2007).

3. Metodologia

A metodologia proposta consiste na delimitação das bacias de drenagem glacial localizadas entre 64°S 61°W e 65°S 58°W na Península Antártica. O MDE APGDEM servirá como dado base para a extração da rede de drenagem, análise e seleção de algoritmos e posterior delimitação semiautomática de bacias de drenagem glacial no QGIS. As etapas de processamento dos dados e extração das informações estão descritos a seguir.

3.1 Aquisição de dados

O MDE APGDEM é um modelo digital de elevação com 100 m de resolução espacial para a região da Península Antártica, elaborado a partir de dados de imagens do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e do *Global Digital Elevation Model* (GDEM). Desenvolvido utilizando um novo método para suavizar regiões errôneas, o APGDEM possui uma diferença média de elevação de - 4 m (± 25 m de erro médio quadrático [RMSE]), comparado aos dados do *NASA Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite* (ICESat) e -13 m, ± 97 m quando comparado ao GDEM, embora as precisões de elevação sejam menores para regiões de picos de montanhas e encostas íngremes (Cook et al., 2012) O APGDEM abrange de 63°S até 70°S de latitude. Disponível no formato GeoTIFF este modelo digital de elevação foi adquirido gratuitamente no site do catálogo online do *National Snow and Ice Data* Center (NSIDC), em http://nsidc.org/data/nsidc-0516.html.

O software QGIS é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) licenciado sob a *General Public License* (GNU), projeto oficial do *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) que permite criar, editar e visualizar informação geoespacial em ambiente computacional. O QGIS foi adquirido diretamente na página do projeto, em http://www.qgis.org/.

3.2 Pré-processamento

Os procedimentos aplicados para a extração semiautomática de redes de drenagem a partir de MDE são baseados no cálculo da área de captação, onde o usuário do SIG estabelece de forma empírica um valor mínimo do limiar para o cálculo da área de captação. Todos os valores de célula do MDE acima do limiar são definidos como pontos da rede de drenagem (Banon, 2013) e quanto menor o limiar escolhido, mais complexa e densa será a rede de drenagem (Tribe, 1990; Li et al., 2008). Ressalta-se que limiares pequenos embora gerem redes de drenagem mais densas, produzem linhas de drenagem artificiais paralelas nas áreas de menor declividade (Fernandez, 2011). As etapas relativas ao processamento de dados e análises realizadas durante o trabalho correspondem: processamento digital preliminar de MDE por meio da eliminação de ruídos; análise e seleção de algoritmos de fluxo; procedimentos aplicados à delimitação semiautomática de bacias de drenagem glacial.

3.2.1 Processamento digital preliminar do MDE

O procedimento para a eliminação de *sinks* (i.e., picos e depressões) é aplicado em modelos digitais de elevação para remoção de imperfeições nestes dados. Essas imperfeições devem ser corrigidas para gerar redes de fluxo e delimitar bacias de drenagem de forma mais fiel à verdade terrestre (Hengl et al., 2004). Esse procedimento foi executado no APGDEM na extensão SAGA GIS *Terrain Analysis Preprocessing*, utilizando a ferramenta *Sink Drainage Route Detection.* Esta ferramenta faz uma média entre os valores das células no MDE detectando todos os valores espúrios que necessitam ser removidos. Logo após, é necessário utilizar ferramenta *Sink Removal*, que remove os valores espúrios anteriormente detectados gerando um MDE corrigido (Figura 2).

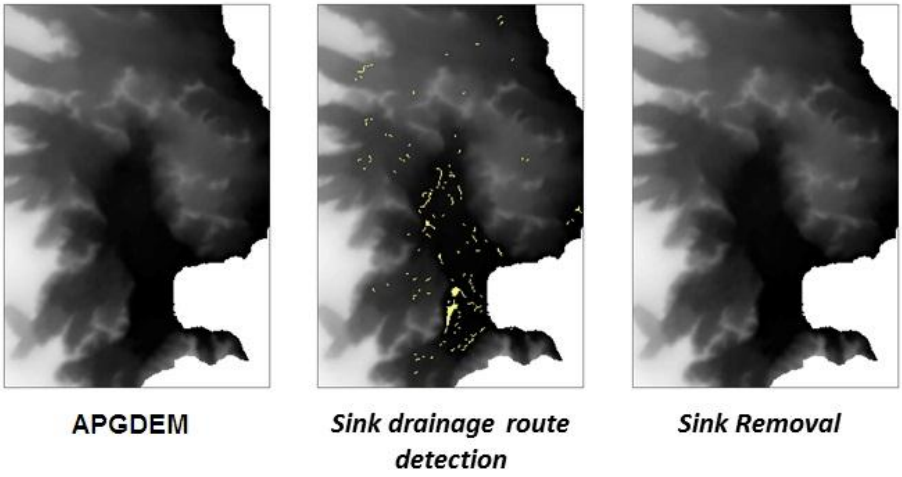

Figura 2: Exemplo de como as ferramentas *Sink drainage route detection* e *Sink Removal* atuam na remoção de valores discrepantes no modelo digital de elevação utilizado no trabalho.

3.2.2 Cálculo da área de captação

O MDE é utilizado como dado matricial base para o cálculo da área de captação (Moore et al., 1991). Algoritmos de fluxo são elaborados para a geração automática da área de captação a partir de diferentes conceitos e abordagens, e apresentam melhor eficácia quando utilizam MDEs com a remoção de sinks (Jenson e Domingue, 1988). Neste trabalho foi utilizado o algoritmo *Digital Elevation Model Networks* (DEMON) (Costa Cabral; Burges, 1994), este algoritmo define valores nas extremidades de cada célula do MDE para a geração da rede de fluxo. De acordo com Fernandéz (2011) a concentração do fluxo é atribuída pela variação no comprimento de contorno sendo maior em superfícies divergentes, menor em superfícies convergentes e constantes em terrenos planos, gerando um fluxo tubular. Diversos limiares foram testados para a extração automática da rede de drenagem, e o valor que gerou drenagens mais condizentes ao que se espera da verdade terrestre foi ≥ 250.000 (Figura 3).

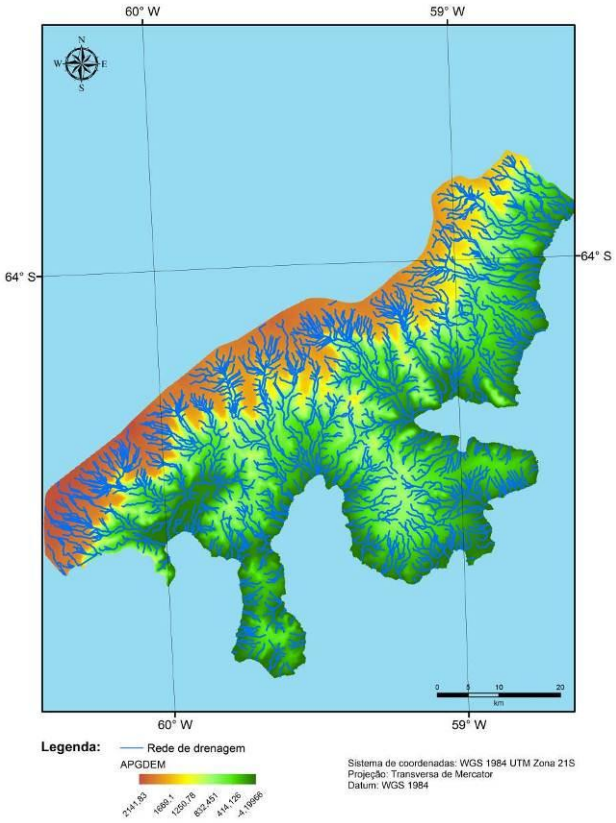

Figura 3: Rede de drenagem gerada a partir do MDE

3.2.3 Delimitação automática de bacias de drenagem glacial

Após a remoção de sinks no MDE e geração da rede de fluxo com o algoritmo DEMON, o próximo procedimento foi delimitar automaticamente as bacias de drenagem glacial utilizando a ferramenta *Watershed* disponível em *Terrain Analysis Channels* na extensão SAGA GIS. O dado de entrada corresponde à área de captação gerada pelo algoritmo DEMON e é exigido um valor mínimo para o tamanho de bacias que serão criadas. Diversos valores foram testados, variáveis de acordo com a área de estudo, e o valor = 100 foi definido. O resultado preliminar da delimitação automática (Figura 4) demonstra subbacias compartimentadas e dados superestimados pelo algoritmo que necessitam ser eliminados em procedimento posterior.

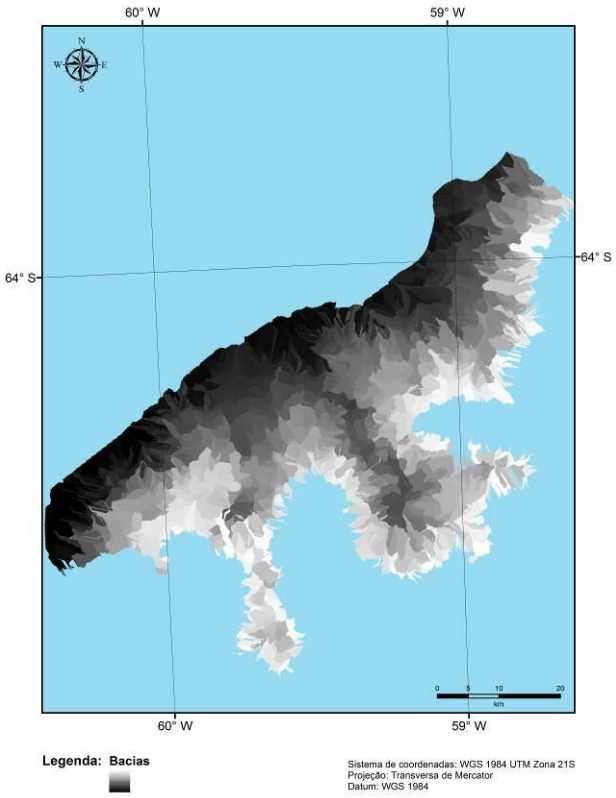

Figura 4: Delimitação automática preliminar

3.2.4 Procedimentos aplicados à eliminação de dados superestimados na delimitação semiautomática de bacias de drenagem glacial

O arquivo de delimitação automática é gerado no formato matricial é deve ser convertido para o formato vetorial para que seja possível remover dados superestimados. Esses dados consistem em polígonos de área muito pequena gerados automaticamente e que, no entanto não correspondem a bacias de drenagem glacial. Na extensão GRASS GIS, na aba *Vector*, foi utilizada a ferramenta *v.clean/rmarea*. Esta ferramenta remove parte dos polígonos excedentes formados por intersecções de vetores sendo necessário determinar um limiar para a remoção destes dados. Diversos valores foram testados e o que apresentou melhores resultados foi = 500.000. O dado automático de delimitação de bacias possui muitos ângulos retos que necessitam ser suavizados. Para este fim, foi utilizada a ferramenta *v.generalize.* No *v.generalize* é possível escolher diferentes algoritmos de simplificação e suavização de vértices. Todos os algoritmos disponíveis foram extensivamente testados e o que apresentou melhores resultados na delimitação automática foi o algoritmo *Snakes* (Kass et al.,1988). O *Snakes* preserva as características gerais do dado, suavizando as arestas nas linhas de delimitação. Após a eliminação de polígonos excedentes e suavização no dado de delimitação automática se faz necessário agrupar manualmente as subbacias confluentes. Para a tomada de decisão e referência foi utilizada a área de captação elaborada no item 3.2.2 e o *Aspect*, dado que representa a orientação de vertentes elaborado a partir do MDE. Tendo estes dados de referência é feito a seleção das subbacias e a separação das bacias maiores utilizando a ferramenta vetorial *Dissolve* do QGIS (Figura 5). Por fim, para fazer a análise e possível extração de dados morfométricos, é necessário unir todas as bacias em um único arquivo vetorial. Esta etapa foi feita na extensão SAGA GIS em *Merge Shape Layers*.

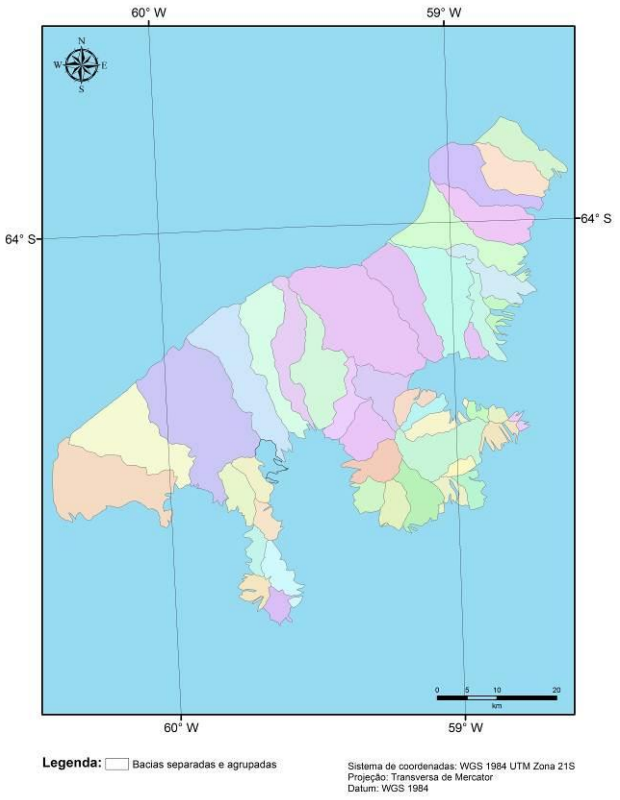

Figura 5: Bacias e subbacias de drenagem agrupadas

4. Resultados e Discussão

A partir do método desenvolvido, foram delimitadas de forma semiautomática cerca de 45 bacias de drenagem glacial para a área de estudo (Figura 6). O arquivo de orientação de vertentes, elaborado a partir do APGDEM, auxiliou na tomada de decisões para o agrupamento de subbacias em regiões de difícil interpretação visual. Posteriormente, ferramentas de análise espacial poderão ser utilizadas para a extração de informações estatísticas sobre as características geográficas das geleiras da área de estudo, tais como: orientação das vertentes, área total, hipsometria, fator de forma, dentre outros dados relevantes.

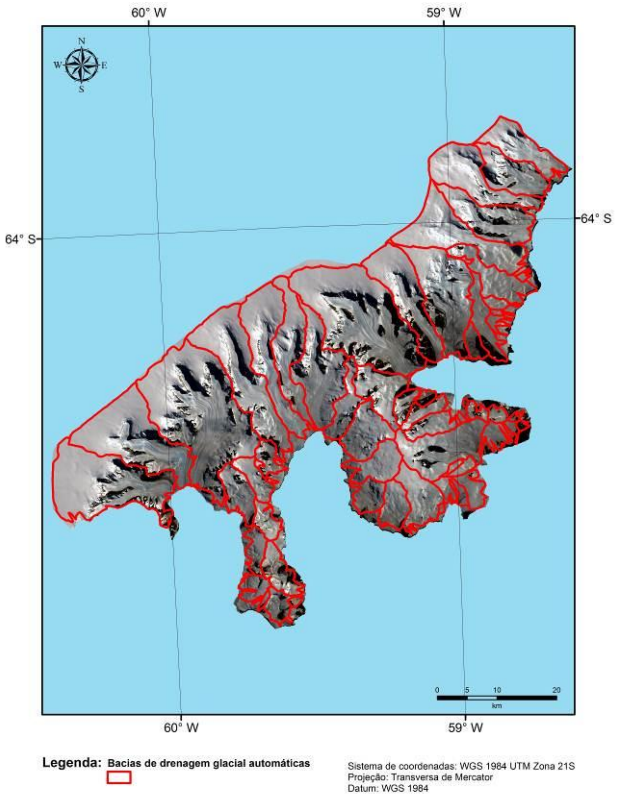

Figura 6: Bacias de drenagem glacial delimitadas automaticamente

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos na delimitação automática de bacias pode-se concluir:

- O procedimento para a correção de *sinks* no APGDEM foi necessário, pois removeu imperfeições neste dado possibilitando a elaboração de redes de drenagem mais fiéis ao que se espera da verdade terrestre;
- A escolha de limiares para o cálculo da área de captação influência diretamente na qualidade final da delimitação de bacias, sendo necessário testar diferentes valores de acordo com a área de estudo;
- Procedimentos aplicados para a remoção de dados superestimados e algoritmos de suavição se mostraram eficientes para o trabalho;
- A metodologia semiautomática desenvolvida se mostrou eficaz para a delimitação de bacias de drenagem glacial da Península Antártica e poderá servir de base para delimitação de geleiras de outras regiões do planeta, contribuindo com estudos relativos ao monitoramento da Criosfera.

Agradecimentos

Este estudo contou com apoio da CAPES através de bolsa de mestrado demanda social.

Referências Bibliográficas

AHLERT, S.; SIMÕES, J. C; O sensoriamento remoto como recurso no estudo da Antártica. In: 4ª JORNADA DE EDUCAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO NO ÂMBITO DO MERCOSUL, 2004, São Leopoldo, RS. **Anais**... São Leopoldo: 2004, 5 p.

ARIGONY-NETO, J. **Monitoring glacier parameters on the Antarctic Peninsula – a centerline approach combining satellite and GIS data**. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade de Freiburg. 2006. 136p.

BANON, L.C. **Árvores de decisão aplicadas à extração automática de redes de drenagem.** Dissertação - (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. 87p. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FB9RFE>. Acesso em: 1 jun, 2014.

BRAUN, M. and H. GOSSMANN. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In Beyer, L. and M. Bölter, eds**. Geoecology of Antarctic ice-free coastal landsdcapes**. Berlin, etc., Springer- Verlag, 75–89, 2002

CHWEDORZEWSKA, K. J. Terrestrial Antarctic ecosystems in the changing world: an overview. **Polish Polar Res** 30:263–276, 2009.

COOK, A. J.; FOX, A. J.; VAUGHAN, D. G. & FERRIGNO, J.G. Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. **Science** 308(5721):541–544, 2005.

COOK, A. J., T. MURRAY, A. LUCKMAN, D. G., VAUGHAN, and N. E. BARRAND. **A New 100-m Digital Elevation Model of the Antarctic Peninsula Derived from ASTER Global DEM**: Methods and Accuracy Assessment, Earth Syst. Sci. Data, 4, 129-142, doi:10.5194/essd-4-129-2012, 2012.

COSTA-CABRAL, M.C.; BURGES, S.J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. **Water Resources Research**, v. 30, n.6, p. 1681-1692, 1994.

FERNANDÉZ, D.C.J. **Avaliação de algoritmos e modelos digitais de elevação para extração automática da drenagem.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. 92p. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39K8BSL>. Acesso em: 1 jun, 2014.

HENGL, T.; GRUBER, S.; SHRESTHA, D. P. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil-landscape modelling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,** v. 5, n. 2, p. 97-112, maio. 2004.

JENSON, S.K. and J.O. DOMINGUE. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 54(11):1593-1600, 1988.

KASS, M. et. al. Snakes active contour models. **International Journal of Computer Vision**, 1, 321-33, 1988.

LI, L.; WANG, J.; HAO, Z.C. Appropriate contributing area threshold of a digital river network extracted from DEM for hydrological simulation. Hydrological Research in China: Process Studies, Modelling Approaches and Applications (**Proceedings of Chinese PUB International Symposium**, Beijing, September 2006). IAHS Publ. 322, 2008.

MOORE, I.D, R.B. GRAYSON, and A.R. LADSON. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrologic Processes**. 5(1):3-30, 1991.

TURNER, J; COLWELL, S.R.; MARSHALL, G.J.; LACHLAN-COPE, T.A.; CARLETON, A.M.; JONES, P.D.; LAGUN, V; REID, P.A.; IAGOVKINA, SVETLANA. Antarctic climate change during the last 50 years.**International Journal of Climatology**, 25 (3).279-294, 2005

TRIBE, A. Towards the automated recognition of landforms (valley heads) from digital elevation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HAN- DLING, 4., 1990, Zurich, Switzerland. **Proceedings**…, Zurich, Switzerland, 1990, p.45-52

USGS, United States Geological Survey. **LANDSAT Image Mosaic of Antarctica (LIMA):** U.S Geological Survey Fact Sheet 2007– 3116, 4 p