



## DISTRIBUIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DO RELEVO, GERADOS AUTOMATICAMENTE, NO TERRITÓRIO DO URUGUAI

Luís Eduardo de Souza Robaina<sup>(a)</sup>, Romario Trentin<sup>(b)</sup>, Marcel Achkar<sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Geociências/ Universidade Federal de Santa Maria, [lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)

<sup>(b)</sup> Departamento de Geociências/ Universidade Federal de Santa Maria, [romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)

<sup>(c)</sup> IECA / Facultad de Ciencias - UDeLaR / Universidad de la República / Uruguay

**Eixo:** GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

### Resumo/

O estudo a associação e distribuição de elementos de relevo, definidos como *geomorphons*, permitem compartimentar fisiograficamente o Uruguai. Os elementos estão representados por 10 mais comuns definidos por: plano (flat), pico (peak), crista (ridge), ressaltos (shoulder), crista secundária (spur), encosta (slope), escavado (hollow), base de encosta (footslope), vales (valley), e fosso (pit). Para a realização do processamento do MDE e geração dos *geomorphons*, utilizou-se a aplicação online, disponibilizada no endereço eletrônico << <http://sil.uc.edu/geom/app>>>. O código da aplicação também está disponível para baixar em <http://sil.uc.edu/>. A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é uma MDE. Os dois parâmetros livres são lookup “L” (distância em metros ou célula unidades) e threshold t (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres aplicou-se valor de “L” igual a 20 pixels (1800 metros) e graus “t” igual a 2°.

**Palavras chave:** Geomorphons; Uruguai; Relevo

### 1.Introdução

A partir dos Sistemas de Informações Geográficas, a obtenção dos atributos do relevo passou a ser um procedimento de mais fácil acesso. A parametrização da morfologia do relevo por meio de SIG é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia.

Conforme Lollo (1996) um dos primeiros trabalhos a usarem a formas do terreno para descrição regional foram de Heberon (1905) e Fenneman (1916). Mais tarde, a análise e classificação do relevo a partir de parâmetros morfométricos das encostas, foram desenvolvidos por Troeh (1965) e Huggett (1975). Troeh (1965) baseando-se na curvatura apresentou classificação de quatro principais tipos de vertentes: as coletoras de água, com plano de curvatura convergente e as distribuidoras de água, com plano de curvatura divergente. Huggett (1975) estabeleceu a combinação de formas de vertentes relacionando a curvatura vista em perfil e em plano, propondo nove padrões de vertentes.



Lollo (1996) delimitou áreas com características fisiográficas distintas a partir da análise da declividade, amplitudes e extensões das feições do relevo, utilizando fotointerpretação e trabalhos de campo.

Os métodos de classificação atuais, principalmente os que se utilizam dos SIGs, possibilitaram a subdivisão das Formas em Elementos do relevo, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo relativamente homogênea em relação à forma (curvaturas de perfil e de plano), inclinação (declividade), orientação ou exposição (aspecto ou radiação solar) e posicionamento na paisagem (MACMILLAN E SHARY, 2009).

Wood (1996) propõe um método que extrai e classifica seis Formas de Terreno (FTs): *Plane, Channel, Ridge, Pass, Peak e Pit*. O método considera uma combinação específica dos pares de curvaturas Longitudinal/Transversal e Mínima/Máxima a depender da declividade da região a ser classificada.

Schmidt e Hewitt (2004) desenvolveram um procedimento onde obtêm diferentes ETs (Elementos do Terreno) utilizando como critério a posição da paisagem, dividindo-a em áreas planas e em áreas dissecadas a partir da curvatura tangencial, vertical, mínima e máxima. Dragut e Blaschke (2006) optaram por segmentar os objetos dos Modelos de Elevação relativamente homogêneos em vários níveis geomorfológicos utilizando curvatura de plano e curvatura vertical.

Iwahashi & Pike (2007) apresentam um método de classificação topográfica automatizada sem supervisão com base em três variáveis morfométricas: declividades, convexidade das encostas e textura superficial.

Utilizando Sistemas de Informações Geográficas, Muñoz (2009), descreve de forma quantitativa as formas da superfície por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica.

Recentemente, Jasiewicz & Stepinski (2013) estabeleceram uma classificação de elementos do relevo usando ferramentas de visão computacional ao invés de ferramentas da geometria diferencial. Os autores fazem uma analogia entre a classificação textural de imagem, com base em um arranjo espacial de tons de cinza para uma determinada região com arranjo espacial de elevação. Eles modificaram ferramentas utilizadas na classificação textural e aplicaram para análise de formas de relevo. Utilizaram o conceito de “Local Ternary Patterns” (LTP) (Liao, 2010) para identificar elementos do relevo, denominados de *geomorphons* por analogia ao *textons* (JULESZ, 1981). Textons referem-se a micro-estruturas fundamentais em uma imagem e, assim, constituem os elementos básicos de percepção visual (JULESZ, 1984). Analogamente, geomorphons são micro-estruturas fundamentais do relevo. Os autores geraram um mapa com 10 mais comuns elementos de landforms (flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, hollow, footslope, valley, and pit).



Dessa forma, mapas de formas de relevo podem ser trabalhados como algoritmos. Através dos algoritmos médios pode-se, através de técnicas computacionais, auto classificar e mapear elementos das formas de relevo. Os elementos de formas de relevo podem ser expressos por um número de diferentes *geomorphons*.

## 2. Metodologia

As bases cartográficas utilizadas neste trabalho foram constituídas pelo limite político administrativo do Uruguai, disponibilizado pela base de dados digitais da ESRI (ESRI, 2016), utilizado para definir os limites da área de interesse da pesquisa e, o Modelo Digital de Elevação originado da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros).

A metodologia aplicada na definição dos geomorphons deste trabalho é baseada na proposta de Jasiewicz & Stepinski (2013), que analisa a similaridade textural do MDE, que apresentará variação para mais ou para menos de níveis de cinza entre células vizinhas, considerando um nível específico. Se maior “1”, se menor “-1” se igual “0”. Isso é transferido para valores de elevação do terreno de maior, menor ou igual (Figura 2).

Para a realização do processamento do MDE e geração dos geomorphons, utilizou-se a aplicação online, disponibilizada no endereço eletrônico << <http://sil.uc.edu/geom/app>>>. O código da aplicação também está disponível para baixar em <http://sil.uc.edu/>.

A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é uma MDE. Os dois parâmetros livres são lookup L (distância em metros ou célula unidades) e threshold t (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres aplicou-se valor de L igual a 20 pixels (1800 metros) e graus t igual a 2°.

As escalas espaciais dessas paisagens variadas são identificáveis na figura 2 com padrões diferentes de cores que representam elementos do relevo.

Após a identificação e análise da ocorrência dos elementos de relevo, estabeleceu-se a compartimentação do relevo através do agrupamento manual dos principais elementos, conforme sua distribuição espacial.

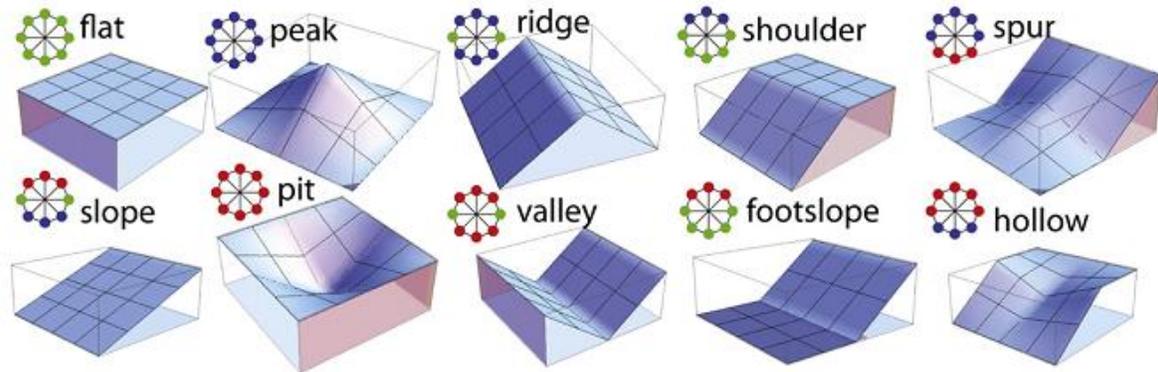


Figura 1. Principais Geomorphons reconhecidos na análise do Relevo. Modificado de Jasiewicz & Stepinski (2013).  
Org.: autores

### 3. Resultados da compartimentação do Relevo do Uruguai

O Uruguai, tem uma área de aproximadamente 176.000 quilômetros quadrados, está localizado na parte SE da América do Sul. A única fronteira terrestre do Uruguai é com o estado brasileiro do Rio Grande do Sul; no Norte e a oeste o rio Uruguai, a SW encontra-se o estuário do Rio da Prata e Leste é o Oceano Atlântico (figura 2).



Figura 2 – Mapa de localização do Uruguai. Org.: autores



A distribuição e a associação entre os 10 elementos de relevo está apresentado no mapa da figura 3, enquanto a representação percentual desses elementos é representado no gráfico da figura 4.

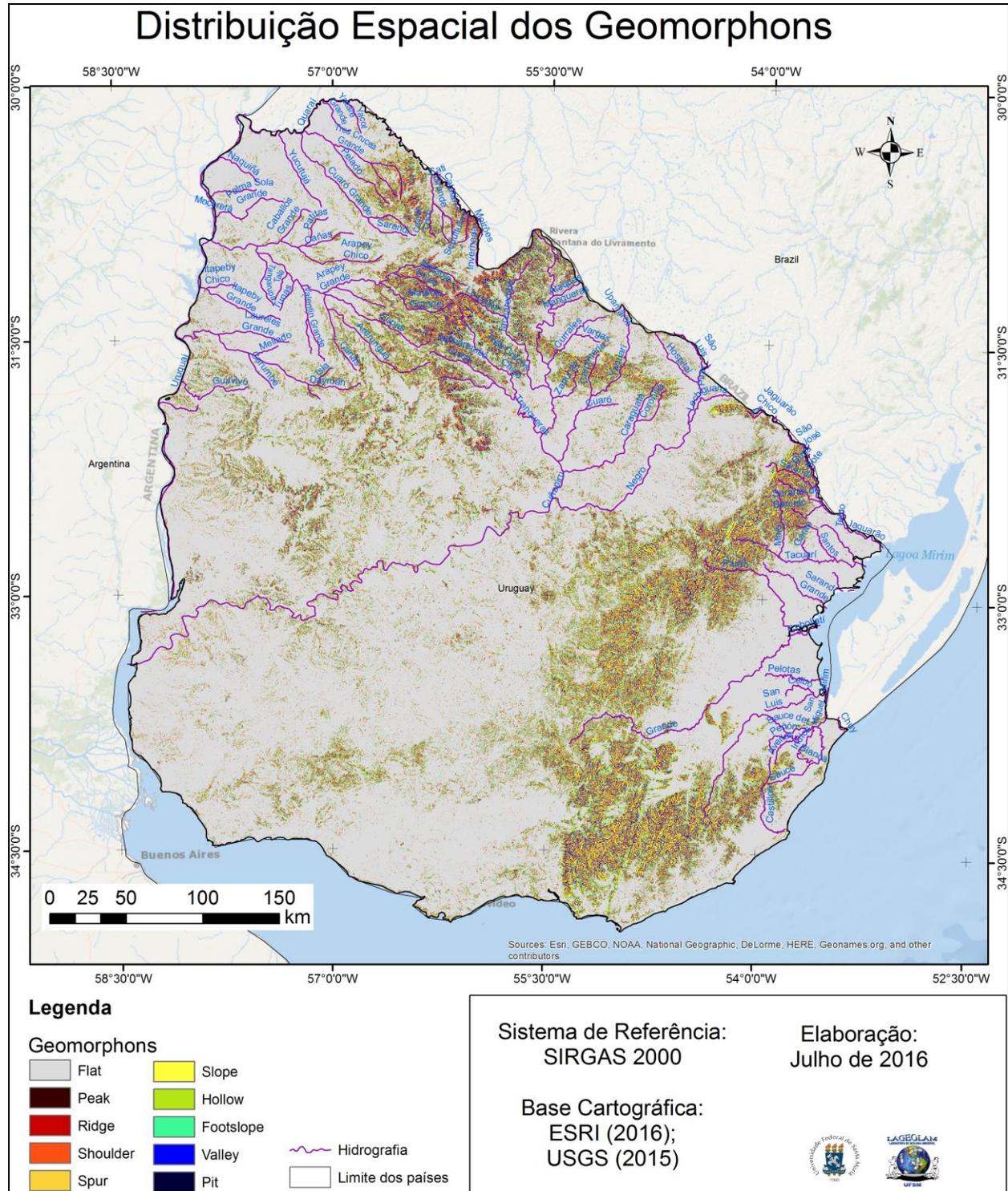


Figure 3 – A figura mostra a distribuição especial dos elementos de Geomorphons do Uruguai. Orgs.: Autores

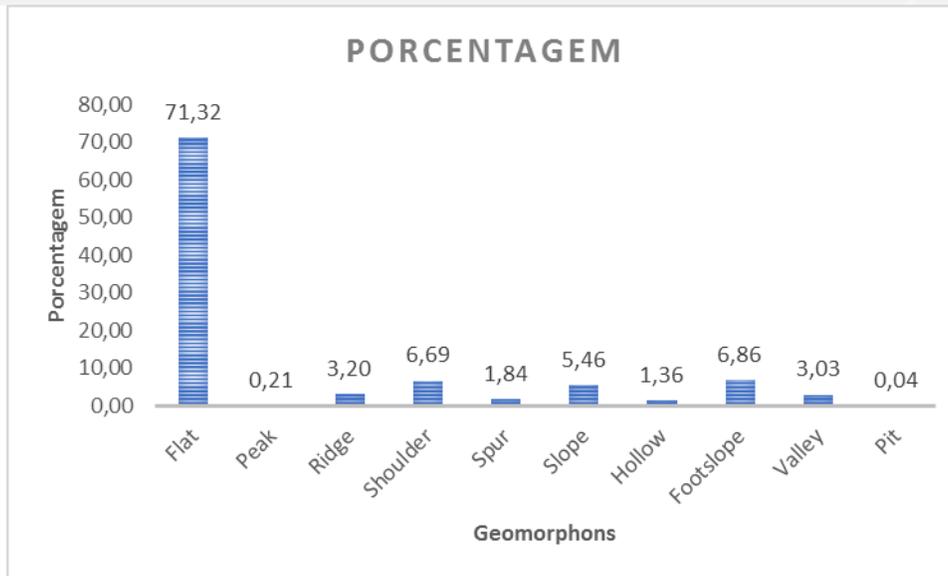


Figura 4 - Distribuição da porcentagem dos elementos do relevo. Org.: Autores

As figuras mostram que o Uruguai é caracterizado por um relevo com grandes áreas planas, que compõem 71% do total do território. Uma análise de mais detalhe mostra que as regiões onde os elementos de áreas planas predominam podem ser divididos em, pelo menos, quatro compartimentos.

A primeira região se localiza no extremo Norte e se associa a porções da Cuesta basáltica caracterizada pela ocorrência de derrames com estruturas horizontais, que geram formas aplainadas descontínuas.

A segundo ocorre a Sudoeste junto a desembocadura do rio Uruguai e próximo a foz do rio Negro formando áreas inundáveis e/ou de umidade semipermanentes (Panario, 1988). O substrato é composto por sedimentos atuais, depósitos arenosos, siltosos do Pleistoceno, mas sobretudo por arenitos finos e siltitos carbonatados, interpretados como de origem continental em ambiente semi-árido do Oligoceno (Preciozzi et al, 1985).

O terceiro compartimento está representada no Sul do território do Uruguai junto a foz do Rio de La Plata, com depósitos siltosos maciços classificados como depósitos de loess retrabalhados do Pleistoceno (MM) (Panario, 1988).

O quarto compartimento com amplo predomínio de elementos *flat* ocorre na região Leste-Nordeste, compreende duas grandes unidades: a fossa tectônica da Laguna Merín, composta por sedimentos terciários e a segunda unidade que corresponde a zona costeira junto ao Oceano Atlântico com relevo desenvolvido sobre depósitos arenosos recentes (Preciozzi et al, 1985).



Nas regiões Nordeste, Centro e Sul ocorrem situações onde as áreas planas predominam mas existe uma importante contribuição de outros elementos.

A porção Nordeste corresponde a Bacia sedimentaria gondwanica, que se localiza no alto curso do rio Negro, composto por grandes acumulações de sedimentos (Panario, 1988). Porções com diferenças na diagênese geram camadas e porções mais resistentes que reflete em elementos de *shoulder* (5%), *footsolpe* (4,7%) e de elementos menores como *peak* e *ridge*.

No Centro em área drenada pelo médio-baixo curso do rio Negro se associando com *shoulder* (6%) e *footslope* (5%). Está associado a um substrato de derrames vulcânicos onde ocorre transição com terrenos de rochas graníticas a leste e rochas sedimentares do Paleozóico ao Norte (Preciozzi et al, 1985).

Ao Sul forma uma área de colinas suaves formada por materiais do embasamento cristalino com recobrimentos de materiais sedimentários do Quaternário.

Nas demais regiões observa-se uma participação significativa dos diferentes elementos de relevo. Uma ampla área ocorre na região norte, correspondendo a frente de recuo da cuesta basáltica, onde as superfícies aplainadas retrocedem por efeito da erosão remontante. La predominância de materiais mais resistentes que forma um alto topográfico conhecido como Cuchilla de Haedo.

Outra unidade que pode ser observada, localizada Centro-Sudeste do território constitui grande parte da Cuchilla Grande formada por uma associação de rochas metamórficas e ígneas do embasamento (Porta et al, 1985). Na porção norte apresenta os menores níveis de altitude devido a processos antigos de aplainamento.

Além dessas, ocorre de forma mais restrita na região Nordeste do território uma área elevada que representa uma exposição do embasamento cristalino soerguido entre as rochas sedimentares ao redor, conhecido como a “Isla cristalina de Rivera”.

#### 4. Considerações Finais

As definições dos elementos de relevo possibilitaram um zoneamento fisiográfico, que representam distintas configurações morfológicas conforme as características de substratos geológicos e dissecação dos processos de dinâmica superficiais.

De forma geral, pode destacar ainda que os elementos de áreas planas (flat) são os predominantes no Uruguai, onde caracterizam-se como os principais elementos ao longo de todo o território.



Com relação a metodologia, a proposta de identificação dos elementos do relevo, incorporando procedimentos e uma técnica de determinação de geomorphons se mostrou bastante eficiente na delimitação de diferentes compartimentos de relevo no Uruguai pois permitiu determinar distintas e peculiares características do relevo.

As características do relevo identificadas, são concordantes com os antecedentes cartográficos realizados para o Uruguai, com técnicas convencionais de levantamento de dados, como a carta Geológica, (Preciozzi et al, 1985) e a carta Geomorfológica (Panario, 1988).

## 5. Bibliografia

DRÄGUT, L. E BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, 81, 2006, pag. 330-344.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Arcgis Online**. Disponível em: <<<http://www.arcgis.com/home/index.html>>>. Acesso em março de 2016.

HENGL, T. **Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches**. Enschede, Wageningen University, 2003. 200p. (Tese de Doutorado)

HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 13, p. 1-22, 1975.

IWAHASHI, J. e PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology** 86. 2007. Pag. 409-440.

JASIEWICZ, J. e STEPINSKI, T. F. Example-Based Retrieval of Alike Land-Cover Scenes from NLCD2006 Database, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters** 10(1). 2013, pp. 155-159.

JASIEWICZ, J. e STEPINSKI, T. F. Geomorphons a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology** 182 (2013) 147-156

JULESZ, B. Textons, the elements of texture perception, and their interactions. **Nature**, 1981 vol. 290 (5802) pp. 91.

JULESZ, B. A brief outline of the texton theory of human vision. **Trends in Neuroscience**, 1984, 7, 41-45.

LIAO, W.-H., 2010. Region Description Using Extended Local Ternary Patterns. 2010. 20th International Conference on Pattern Recognition, pp. 1003-1006.



LOLLO, J.A. de O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de avaliação do mapeamento geotécnico: Sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas/SP. Tese da Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 1996. 250p.

MACMILLAN, R. A. e SHARY, P. A., Chapter 9 Landforms and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. (eds), Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. **Developments in Soil Science**, vol. 33, Elsevier, Amsterdam, 2009. Pag. 227-254.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. **Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000, y Leyenda que la acompaña**. Montevideo, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Uruguay. 1976

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PANARIO, D. **Geomorfología del Uruguay, Propuesta de un marco estructural y un esquema de evolución del modelado del relieve uruguayo**. Departamento Publicaciones - Facultad de Humanidades y Ciencias, UdelaR, Montevideo. 32 p. 1988

PANARIO, D.; GUTIERREZ, O.; ACHKAR, M.; BARTESAGHI L.; CERONI M. **Clasificación y mapeo de ambientes em Uruguay. Informe Técnico**. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 149p. 2011.

PORTA, F. P.; PIIOPPO, J. S.; MARZIOTTO, W. H.; KEMPA, P. R. **Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a la escala 1:500.000**. Montevideo: Ministerio de industria y energía. Dirección nacional de minería y geología. 1985.

PRECIOZZI, F., J. SPOTUMO, W. HEINZEN, P. ROSSI. 1985. **Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay del Uruguay a la escala 1:500.000**. Montevideo, Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), Ministerio de Industria, Energía y Minería, Montevideo. 92 p., il; 2 mapas fuera de texto.

SCHMIDT, J., HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. **Geoderma** 121. 2004, Pag. 243–256.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM). **U.S. Releases Enhanced Shuttle Land Elevation Data**. Disponível em :<< <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> >>. Acesso em fevereiro de 2015.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal Science**, v. 263, p. 616-627, 1965.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **USGS Global Visualization Viewer**. Disponível em :<< [https://lpdaac.usgs.gov/data\\_access/glovis](https://lpdaac.usgs.gov/data_access/glovis) >>. Acesso em fevereiro de 2015.