

MEDIÇÕES LINEARES E AREAIS DE FORMAS DO RELEVO EM SIG: QUANTIFICAÇÃO DO ERRO INERENTE À ASSUNÇÃO DE TOPOGRAFIA PLANA E IMPLICAÇÕES PARA A INVESTIGAÇÃO

LINEAR AND AREAL MEASUREMENTS OF LANDFORMS USING GIS: QUANTIFICATION OF THE ERROR INHERENT TO THE ASSUMPTION OF PLANE TOPOGRAPHY AND IMPLICATIONS FOR RESEARCH

*Bergonse, Raffaello, Centro de Estudos Geográficos-IGOT, Universidade de Lisboa, Portugal,
rafaellobergonse@gmail.com*

*Reis, Eusébio, Centro de Estudos Geográficos-IGOT, Universidade de Lisboa,
eusebioreis@campus.ul.pt*

RESUMO

A medição de perímetros e áreas em SIG leva normalmente em consideração apenas coordenadas horizontais, ignorando o declive e produzindo consistentemente subestimações. No presente trabalho, estes erros foram quantificados usando um conjunto de 90 sistemas de ravinas presentes em duas sub-bacias do Baixo Tejo, sujeitos a duas técnicas alternativas de recolha de dados e escalas de informação altimétrica. Um sub-conjunto foi depois utilizado para avaliar o erro associado ao efeito da escala da altimetria. No contexto topográfico estudado, a não consideração do declive levou a uma subestimação média das dimensões entre os 5,5% e os 9,3% com até um terço das formas mostrando valores >10%, e máximos >20%. O erro aumenta com o aumento da escala da altimetria utilizada. A análise da variedade de contextos topográficos descritos na literatura mostra que valores semelhantes são relativamente frequentes, condicionando em diferentes graus a objectividade dos resultados obtidos.

ABSTRACT

GIS-based linear and areal measurements normally take into consideration only plane coordinates, disregarding the influence of topographic gradient over distance and thus consistently producing underestimations. In this work, these errors were quantified using a dataset of 90 gully systems occurring in two sub-basins of the Lower Tagus, subjected to two alternative data gathering techniques and scales of altimetric data. A subset was subsequently used to investigate the effect of the scale of altimetric data over the errors obtained. In the study area, ignoring slope led to an average underestimation between 5,5% and 9,3% with up to a third of studied features showing values >10% , and maxima >20%. Error increases with the scale of altimetric data. An analysis of the diverse topographic settings described in the literature shows similar values to be relatively common, constraining to different degrees the objectivity of research results.

1. INTRODUÇÃO

Embora existam numerosas técnicas disponíveis para a realização de medições lineares e areais sobre formas do relevo, os dados resultantes são habitualmente integrados e analisados em ambiente SIG. Usando como exemplo o campo do ravinamento, duas abordagens dominam a literatura: (1) a delimitação das formas sobre temas de informação, e.g. mapas topográficos (Buccollini and Coco, 2010), fotografias aéreas (Moretti e Rodolfi, 2000), e Modelos Numéricos de Elevação (MNE), normalmente obtidos a partir destas (Buccollini et al., 2012); e (2) medições directas no campo, usando técnicas como GPS (Wu e Cheng, 2005), estações totais (Wang et al., 2008), ou instrumentos manuais, e.g. fita métrica (Vandekerckhove et al., 2000).

Os algoritmos para a obtenção de áreas e perímetros a partir de dados de base (e.g. linhas, polígonos) são vulgares em *softwares* de SIG. Contudo, normalmente levam em conta apenas coordenadas horizontais, projectando efectivamente qualquer elemento originalmente tridimensional (e.g. dados LiDAR ou GPS) sobre um plano, e assim assumindo implicitamente que a topografia não possui qualquer inclinação, ou que a que possui é irrelevante. Exemplos são as ferramentas *Calculate Areas* do ArcGIS (ESRI), ou *Calculate Area, Perimeter, Length, Acres and Hectares* do XTools 8.1. (DataEast LLC). Igual assunção subjaz à comum vectorização de formas sobre fotografias ou MNE (e.g. Parkner et al., 2006; Buccollini et al., 2012) produzindo dados planimétricos.

A diferença entre as dimensões reais e aparentes (i.e. projectadas) de uma forma podem ser expressas em termos das relações entre lados de um triângulo: sendo h a hipotenusa (i.e. uma linha na topografia real, com declive), a o cateto que lhe subjaz (i.e. o resultado da sua projecção no plano) e α o ângulo entre os dois (i.e. declive),

$$a = h \cdot \cos(\alpha) \quad [1]$$

$$h = a / \cos(\alpha) \quad [2]$$

implicando que a subestimação ($h-a$) será proporcional ao ângulo de declive.

Face às considerações acima, o presente trabalho teve quatro objectivos: (1) apresentar metodologias simples para integrar o declive nas medições de área e perímetro em ambiente SIG usando tanto dados de origem tridimensionais como planares; (2) quantificar a subestimação resultante da não consideração do declive para dois conjuntos de dados, obtidos com técnicas contrastantes e frequentes na literatura (levantamento GPS/interpretação de fotografia aérea); (3) isolar o efeito exercido sobre o erro pela escala da informação altimétrica de base utilizada; (4) discutir até que ponto os resultados são válidos para diferentes áreas de estudo, e portanto relevantes para a comunidade científica em geral.

2. ÁREA DE ESTUDO

As bacias das ribeiras de Ulme e do Vale do Casal Velho (138,4 e 12,9 km² respectivamente) drenam a margem esquerda do Baixo Tejo, tendo as desembocaduras poucos quilómetros a sul e a norte da Chamusca. Do ponto de vista litológico, são compostas por formações clásticas terciárias (areias e argilas com frequentes intercalações cascalhentas) a que se sobrepõem mantos de conglomerados. As vertentes são relativamente declivosas (11° em média na Rib^a de Ulme), sendo afectadas por numerosas ravinas e complexos de ravinas, estes últimos possuindo por vezes mais de 20 m de profundidade e estendendo-se por vários hectares. Apesar dos fundos estabilizados, as paredes e cabeceiras são frequentemente sub-verticais e desprovidas de vegetação, com sinais abundantes de actividade recente (árvores desenraizadas, depósitos basais).

3. METODOLOGIA E RESULTADOS

Com base na análise de ortofotografias aéreas (2004, IGP/DGRF, resolução 0,5 m), 30 complexos de ravinas foram seleccionados de forma a abrangerem a variabilidade existente em termos de dimensões. Os perímetros deste conjunto foram levantados no campo usando GPS (Magellan Promark 3), utilizando correcção diferencial (erros posicionais médios em XYZ de 5,1 cm, 4,7 cm e 9,4 cm), num total de 7194 pontos. A foto-intepretação permitiu expandir este conjunto para abranger 90 formas (76% das quais validadas por observação directa), cujos perímetros foram vectorizados na forma de polígonos usando o ArcGIS 9.1. De forma a associar valores de altitude a este tema planimétrico, foi construído um modelo TIN a partir de curvas de nível 1:10000, depois convertido para *raster* com resolução de 1 m, e combinado com o tema pontual usando a ferramenta *Extract values to points* (ArcGIS 9.1).

A sequência de procedimentos esquematizada na Fig.1 foi depois adoptada, permitindo obter valores de área real A_r (levando em conta o declive, conforme [2]) e planimétrica (A_p) para ambos os

conjuntos. Os perímetros reais Pr foram calculados decompondo os polígonos das formas em n pontos individuais ordenados, e operacionalizando a expressão:

$$Pr = \sum_{i=1}^{n-1} \left[(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2 \right]^{0,5} + \left[(x_n - x_1)^2 + (y_n - y_1)^2 + (z_n - z_1)^2 \right]^{0,5} \quad [3]$$

Os perímetros aparentes foram obtidos removendo da expressão a componente vertical z .

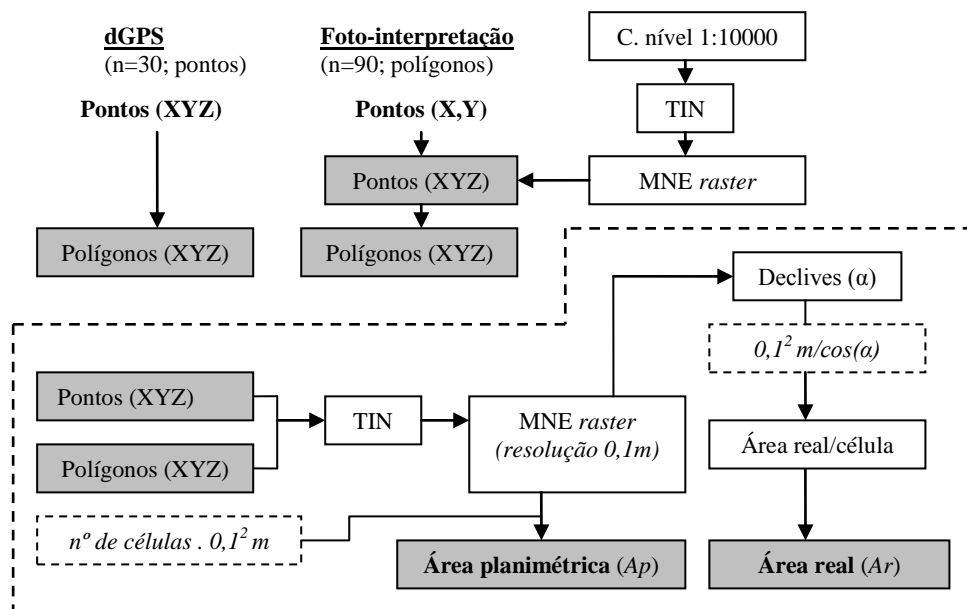


Fig. 1 - Sequência de procedimentos adoptada no cálculo das áreas aparentes (A_p) e reais (A_r), para ambos os conjuntos de formas analisados. As caixas delimitadas com linhas contínuas designam temas cartográficos, cuja relação na ordem de produção é indicada pelas setas. A sequência delimitada por um traço descontinuo foi comum a ambos os conjuntos, sendo os seus *inputs*, mostrados a cinzento, o resultado dos procedimentos apresentados acima para cada conjunto.

Finalmente, os valores reais (A_r , P_r) e planimétricos (A_a , P_a) foram comparados para os dois conjuntos de dados, sendo calculada a sua diferença em termos absolutos e a percentagem por esta representada face às dimensões verdadeiras, denominada erro percentual relativo.

De forma a investigar o efeito específico da escala da informação altimétrica adoptada sobre o erro, dois novos conjuntos de dados foram criados removendo as coordenadas verticais das 30 formas dGPS e associando-lhes valores extraídos da topografia 1: 10000 e 1:25000 (IGeoE, folhas 342/354), usando a mesma metodologia já adoptada com respeito às formas foto-interpretadas (Fig.1).

Considerando os dois conjuntos de dados iniciais, os resultados mostram subestimações médias superiores no conjunto dGPS, tanto na área como no perímetro (respectivamente 9,3% e 8,1% face a 8,0% e 5,5%). Os erros foram sistematicamente superiores na área, o que é expectável dado que o erro no perímetro depende também da relação entre a direcção de cada segmento unindo dois pontos face à direcção de máxima inclinação topográfica, nem sempre coincidente. A proporção de formas com erros superiores a 10% foi de 33% e 23% (área e perímetro dGPS) face a 27% e apenas 6% (foto-interpretação). Os valores máximos de erro ultrapassaram os 20% nas áreas para ambos os conjuntos, sendo de 16,6% e 12,6% nos perímetros.

No que se refere à influência da escala da informação altimétrica, os erros aumentaram sistematicamente com o detalhe da informação (Quadro 1), sendo máximos para a altimetria mais detalhada do dGPS. O mesmo ocorreu com a dispersão, mostrando que escalas maiores produzem

maiores proporções de erros elevados. Como exemplo, um limiar de 10% de subestimação na área incluiu 33,3% das formas com altitudes levantadas com dGPS, 23,3% para a escala 1:10000, e 16,7% para a 1:25000. Embora as médias dos erros dGPS e 1:25000 sejam estatisticamente diferentes (teste *t*; STATISTICA 6.0) não foi possível diferenciar os valores 1:25000 dos 1:10000, ou estes dos dGPS.

Quadro 1 - Erros percentuais relativos obtidos para o mesmo conjunto de formas e diferentes escalas de informação altimétrica.

	dGPS		Topografia 1:10000		Topografia 1:25000	
	Ar-Aa (%)	Pr-Pa (%)	Ar-Aa (%)	Pr-Pa (%)	Ar-Aa (%)	Pr-Pa (%)
Média	9,3	8,1	7,8	7,5	6,9	6,5
Min	3,1	3,5	3,3	2,8	1,7	2,2
Max	21,9	16,6	21,2	15,3	11,5	11,7
DP	4,7	3,1	4,0	3,1	2,7	2,5

Finalmente, foi feita uma revisão da literatura de forma a determinar até que pontos os resultados obtidos são frequentes, e portanto relevantes para a investigação geomorfológica em geral. Com base nos declives médios e máximos referidos em 18 trabalhos em diversos enquadramentos geográficos, foram calculados os valores de erro percentual relativo expectáveis. A comparação com os valores obtidos para o Baixo Tejo mostra que erros semelhantes podem ser esperados em contextos tão diversos como o SE e NW de Espanha (Vandekerckhove et al., 2000; Menéndez-Duarte et al., 2007), Sicília (Buccolini et al., 2012), N da China (Wu e Cheng, 2005) ou Laos (Chaplot et al., 2005). Mesmo em relevos mais suaves, os valores máximos de erro são frequentemente superiores a um décimo das dimensões das formas.

4. CONCLUSÕES

Recorrendo a duas técnicas de recolha de dados e escalas de informação comuns nos campos do ravinamento e da erosão do solo, os resultados obtidos permitiram concluir que a não consideração do declive em medições areais e lineares produz na área estudada subestimações frequentemente superiores a 10% das dimensões reais das formas, com máximos acima dos 20%. Os valores são sistematicamente mais elevados para as áreas do que para os perímetros, e a magnitude da subestimação aumenta com a escala da altimetria adoptada, já que o maior detalhe implica, tendencialmente, maior variação da altitude na superfície abrangida por uma mesma forma. Dado que contextos topográficos semelhantes ao das duas bacias estudadas são relativamente comuns na literatura, pode ser assumido que valores desta ordem o serão igualmente.

A assunção de topografia plana nas medições de formas do relevo tende a reduzir a objectividade dos resultados obtidos de forma proporcional aos declives das áreas em estudo e à sua dispersão, afectando por exemplo cálculos de volumes, análises de regressão, ajustamento de funções a pares de variáveis ou a integração de resultados obtidos em diferentes locais. Neste sentido, a inclusão dos declives nos cálculos das dimensões com SIG deveria ser uma prática generalizada, adicionalmente facilitada pela disponibilidade de dados topográficos em formato digital de onde se podem extrair altitudes e de algoritmos de fácil aplicação integrados nos *softwares* existentes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi tornado possível por uma bolsa de doutoramento atribuída ao primeiro autor pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, ref. SFRH/BD/46949/2008.

REFERÊNCIAS

Buccolini, M., Coco, L. (2010) - "The role of the hillside in determining the morphometric characteristics of "calanchi": the example of Adriatic central Italy". *Geomorphology* 123: 200-210.

- Buccolini, M., Coco, L., Cappadonia, C., Rotigliano, E. (2012)- "Relationships between a new slope morphometric index and calanchi erosion in northern Sicily, Italy". *Geomorphology* 149-150: 41-48
- Chaplot, V., Coadou le Brozec, E., Silvera, N., Valentin, C. (2005) - "Spatial and temporal assessment of linear erosion in catchments under sloping lands of Northern Laos". *Catena* 63:167-184.
- Menéndez-Duarte, R., Marquínez, J., Fernández-Menéndez, S., Santos, R. (2007) - "Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: controls and geomorphic setting". *Catena* 71: 267-278
- Moretti, S., Rodolfi, G. (2000) - "A typical "calanchi" landscape on the Eastern Apennine margin (Atri, Central Italy): geomorphological features and evolution". *Catena* 40: 217-228.
- Parkner, T., Page, M., Marutani, T., Trustrum, N. (2006) - "Development and controlling factors of gullies and gully complexes. East Coast, New Zealand". *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 187-199.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Gyssels, G., Beuselink, L., de Luna, E. (2000) - "Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments". *Geomorphology* 33; 37-58.
- Wang, X., Zhong, X., Liu, S., Li, M. (2008) - "A non-linear technique based on the fractal method for describing gully-head changes associated with landuse in an arid environment in China". *Catena* 72: 106-112.
- Wu, Y., Cheng, H. (2005) - Monitoring of gully erosion in the Loess Plateau of China using a global positioning system. *Catena* 63: 154-166.