



RISCOS



APLICAÇÃO DAS NOVAS TECNOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE AO RISCO DA RAVINA DO
"CAMINHO DE FERRO" EM LUENA (MOXICO, ANGOLA)*

APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES FOR MAPPING THE SUSCEPTIBILITY TO RISK IN THE
"CAMINHO DE FERRO" ['RAILWAY'] RAVINE IN LUENA (MOXICO, ANGOLA)

Helena Maria Fernandez

Centro de Investigação sobre o Espaço e as Organizações (CIEO), Universidade do Algarve (Portugal)
ORCID 0000-0002-3677-1064 hfernand@ualg.pt

Fernando Miguel Granja-Martins

Centro de Investigação sobre o Espaço e as Organizações (CIEO), Universidade do Algarve (Portugal)
ORCID 0000-0002-2709-804X fmartin@ualg.pt

Emmanuel Arsénio

Universidade do Algarve (Portugal)
ORCID 0000-0002-4814-9846 seninho001@gmail.com

RESUMO

Atualmente, os locais escolhidos para as zonas residenciais obedecem a determinados pré-requisitos, nomeadamente, a proximidade aos locais de emprego, os bons acessos e ao aspeto paisagístico, desprezando muitas vezes a topografia do terreno, como a existência de ravinas ou linhas da água, que se traduzem em zonas de forte suscetibilidade à ocorrência de cheias, inundações e a deslizamentos de terra. Esta problemática é na sua grande maioria potenciada com a errónea intervenção humana, tornando-se urgente tomar medidas para minimizar os danos causados por estes fenómenos. Recorrendo aos Sistemas de Informação Geográfica e aos Veículos Aéreos Não Tripulados, pretende-se com este trabalho de investigação produzir elementos cartográficos que caracterizem de forma intrínseca e extrínseca os locais suscetíveis à erosão hídrica, nomeadamente os mapas, dos estados erosivos, do impacto da chuva e da suscetibilidade à erosão hídrica. A área de estudo trata-se de uma zona de ravina conhecida pelos "Caminhos de Ferro", localizada na cidade do Luena da província de Moxico (leste de Angola). O modelo apresentado expressa uma suscetibilidade à erosão hídrica muito alta no período chuvoso e média no período seco, o que pode colocar em risco a infraestrutura do caminho de ferro que liga porto de Lobito à vila de Luau (fronteira com a República Democrática do Congo).

Palavras-chave: Erosão, veículo aéreo não tripulado, sistemas de informação geográfica, Luena, ravinas.

ABSTRACT

Currently, the places chosen for residential areas take some criteria into account, closeness to workplaces, good accessibility and landscape. But the topography of the land, such as the existence of gullies or watercourses are often disregarded, and these can become areas highly susceptible to the occurrence of floods and landslides. This problem is greatly magnified by erroneous human intervention, and therefore measures to minimize the damages caused by these phenomena are needed urgently. By using geographic information systems and unmanned aerial vehicles (drones), this research aims to produce cartographic elements that intrinsically and extrinsically characterize the sites susceptible to hydric erosion. The study area is a section of a ravine, known as the Caminhos de Ferro ['Railways'], in Luena, a town in Moxico province (eastern Angola). The model created shows that there is a very high susceptibility to water erosion in the rainy season and moderate susceptibility in the dry period. It can create a risk for the railway infrastructure that connects the port of Lobito to Luau (border with the Democratic Republic of Congo).

Keywords: Erosion, unmanned aerial vehicle, geographic information system, Luena, ravines.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no IV Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 27-06-2018, sujeito a revisão por pares a 10-10-2018 e aceite para publicação em 28-01-2019. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 27 (I), 2020, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

No âmbito da gestão do território é necessário refletir nas medidas de prevenção e mitigação no que respeita à erosão do solo, nomeadamente, nos danos causados pela formação de ravinas. Diversos estudos têm mostrado que este processo de degradação do solo contribui para a limitação no que respeita, à ocupação do território, à qualidade das áreas para a produção agrícola, à acessibilidade, às infraestruturas e à saúde humana (Poesen *et al.*, 1998; Martinez-Casasnovas, 2003, Kheir *et al.*, 2007; Frankl *et al.*, 2012).

A erosão dos solos não é um problema da atualidade, na medida em que diversos investigadores têm produzido cartografia sobre o risco de erosão dos solos em várias partes de África (Lesschen *et al.*, 2007; Le Roux *et al.*, 2008; Mutowo e Chikodzi, 2013; Okou *et al.*, 2016). No que respeita à concentração de precipitação, como estimador do fator de risco de erosão vários estudos têm sido realizados nomeadamente, o de Velasco e Cortés (2009) em Sinaloa, México, Nunes e Quinta-Nova (2015) em Pampilhosa da Serra, Portugal e Ferreira e Diogo (2015) na cidade do Luena, Angola.

A guerra civil que assolou Angola teve consequências graves a nível económico, social e humano. Após a guerra as únicas prioridades do estado residiram na criação de estratégias de auxílio dos refugiados e reabilitação das infraestruturas destruídas. No que respeita à segurança da população, que ficou exposta à ocorrência de desastres naturais e/ou tecnológicos, foi colocada em segundo plano. Hoje em dia assiste-se também a um desenvolvimento desordenado das cidades o que provoca um impacto direto na degradação do meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas pondo em causa o próprio desenvolvimento socioeconómico da região (Martins *et al.*, 2018).

A leste de Angola, existe grande ocorrência de fenómenos geológicos preocupantes designados por ravinas. Ao longo dos anos tem ganho proporções alarmantes, pondo em risco a vida das populações e das infraestruturas (do Ambiente, 2006). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado do tipo Cwa (clima mesotérmico, húmido, de estação seca no inverno). Trata-se de uma região sujeita a períodos chuvosos com grande quantidade de precipitação contribuindo grandemente no processo da erosão hídrica do solo, que em alguns casos provocam inundações e cheias.

O aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos devido às migrações oriundas do interior do país à procura de melhores condições de vida tem provocado um crescimento desorganizado das cidades originando uma série de dificuldades na gestão do território. Muitas são as áreas habitacionais que proliferam de forma ilegal em zonas de ravina e que muitas vezes encerram as drenagens das linhas de

água pondo em risco a população. Também a falta de informação e de cultura das populações sobre o cuidado a ter com a terra bem como os seus recursos naturais, têm contribuído fortemente para a degradação do solo (Ferreira e Diogo, 2015).

Em 7 de novembro de 2003, foi criada a Lei de bases de Proteção Civil (Lei 28/03) para prevenir a ocorrência de riscos coletivos resultantes de possíveis acidentes graves, calamidades naturais ou tecnológicas assim como, a implementação de um Projeto de Apoio à Criação de um Sistema Nacional de Proteção Civil.

Atualmente e até 2021 está em curso o levantamento geológico de todo território nacional, obedecendo ao Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). Neste plano está incluído o desenvolvimento sustentável da população, que só poderá acontecer desde que esta permaneça em áreas seguras, e de preferência que não sejam classificadas como áreas de suscetibilidade elevada ao risco de ravinas. Posto isto, é necessário criar infraestruturas de contenção das ravinas e promover o bom uso dos solos.

Este trabalho de investigação, tem como objetivo cartografar a suscetibilidade ao risco de erosão hídrica do solo na Ravina dos “Caminhos de Ferro” localizada na cidade de Luena (província Moxico) em Angola, utilizando as novas tecnologias, nomeadamente, os Veículos aéreos Não Tripulados (VANT) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O produto cartográfico resultante constituirá uma excelente base para que os *stakeholders* a utilizem como ferramenta de gestão do território ajudando-os no combate à ocupação ilegal em áreas de risco, com o intuito de salvar vidas humanas e bens materiais, permitindo assim um desenvolvimento sustentável das populações.

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho de investigação localiza-se em Angola, no município de Moxico (na província de Moxico) mais propriamente na cidade do Luena. Moxico é uma das 18 províncias da República de Angola, e está localizada a Leste do País. Está limitada pela província do Cuando Cubango a Sul, Lunda Sul e Congo Democrático a Norte, Bié a Oeste e pela República da Zâmbia a Este (fig. 1). A cidade do Luena é a capital da Província do Moxico, está localizada à latitude 11° 47' S e longitude 19° 53' E e localiza-se numa zona planáltica e com uma altitude média de 1348 m. Caracteriza-se por um clima tropical, sendo dividido em duas estações: (i) uma estação seca (Cacimbo) de maio a agosto, com um período de déficit hídrico; (ii) e a outra, chuvosa, de setembro a abril. As temperaturas máximas variam entre os 25,7 °C (junho) e 30,4 °C (setembro), por outro lado, as mínimas ficam entre os 9,2 °C (junho) e 16,2 °C (janeiro e fevereiro) (Inamet, 2016). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa (clima mesotérmico, húmido, de

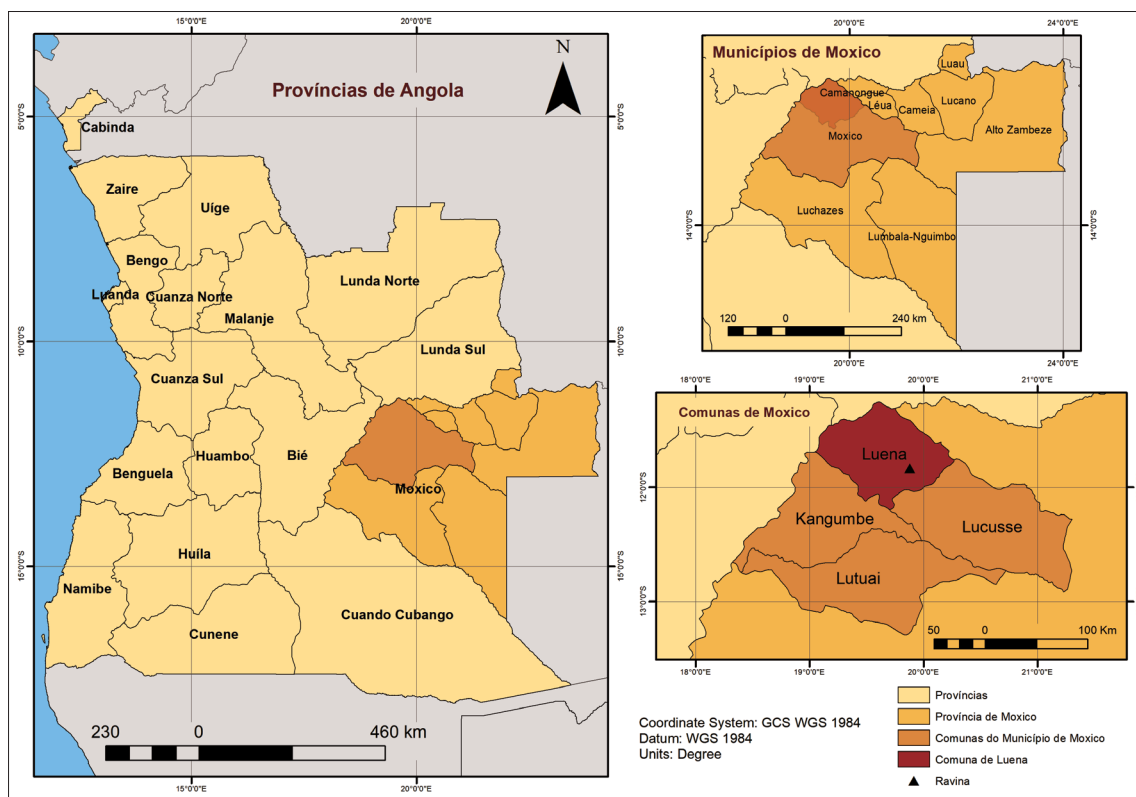


Fig. 1 - Área de estudo.

Fig. 1 - Study area.

estação seca no inverno), (Ferreira e Diogo, 2015). Em toda a província a época de chuva está bem marcada, sendo esta abundante e violenta, variando entre 1200 a 1400 mm anuais (Diniz, 2006) e todos os anos deixam um rasto de destruição na província do Moxico.

Segundo a carta generalizada dos solos de Angola, Luena é constituída por Arenosols (AR). Trata-se de solos pobres de baixo valor agrícola, onde predomina a textura grosseira com materiais arenosos do deserto de Kalahari (Psamíticos ou arenosols). Em áreas sujeitas a alagamentos temporários podem também ocorrer os Psamo-hidromorficos (gleysols), mais ricos em matéria orgânica (Marques, 1977).

Da cidade do Luena foi escolhida para estudar a Ravina dos “Caminhos de ferro” que está localizada a $11^{\circ}48'7.58''S$ e $19^{\circ}51'44.84''E$ (fig. 2). É conhecida localmente como Ravina dos “Caminhos de ferro”, porque se encontra muito próximo da linha férrea que liga o porto de Lobito (litoral-província de Benguela), com a vila de Luau que fica situado na República do Congo (província de Moxico). O estudo desta ravina é importante porque diariamente circulam nesta linha férrea uma grande quantidade de pessoas e de mercadorias indispensáveis ao desenvolvimento económico do país. Apesar das obras de contenção que se tem assistido na área, é preocupante observar a velocidade com que a erosão

do solo tem atuado nesta zona, podendo comprometer a circulação ferroviária (fot. 1 e fig. 2).



Fot. 1 - Trabalhos de contenção da Ravina do “Caminho de Ferro” (Fotografia de Emmanuel Arsénio, 2017).

Photo 1 - Containment works in the “Caminho de Ferro” [Railway] Ravine (Photograph of Emmanuel Arsénio, 2017).

Material e métodos

O procedimento metodológico para o mapeamento da suscetibilidade ao risco de erosão baseou-se nas etapas de trabalho abaixo descritas.



Fig. 2 - Evolução do processo de erosão da Ravina do “Caminho de Ferro”, entre 2011 e 2017 (Fonte: Google Earth).

Fig. 2 - Development of erosion in the “Caminho de Ferro” [Railway] Ravine, between 2011 and 2017 (Source: Google Earth).

Aquisição dos dados

A aquisição de dados foi executada com base em fotografias aéreas obtidas com um Veículo Aéreo Não Tripulados(VANT) da DJI *Phantom 3 Advanced*. No VANT foi acoplado, uma câmara do visível da Sony de 2.7 K com uma dimensão de 6,2 mm×4,6 mm, uma distância focal de 3.61 mm e com 12 megapixels (4000×3000). O voo foi executado no dia 20 de junho de 2016 em modo manual com uma altura de voo de 150 m e uma duração de cerca de 8 minutos. A aquisição da informação foi realizada com disparos de 5 em 5 segundos.

A determinação da resolução espacial (em inglês, Ground Sample Distance, *GSD*) dos pixéis das fotografias baseou-se na eq. 1.

$$GSD_{(cm / pixel)} = \frac{Sw_{(mm)} \times H_{(m)}}{f_{(mm)} \times imW_{(pixels)}} \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

Em que, Sw é a largura do sensor, H a altura do voo, f a distância focal e imW a largura da imagem.

Processamento dos dados

O processamento das fotografias foi realizado, com o *Agisoft PhotoScan*, que se baseia no conceito *Structure from Motion* (Shervais e Dietrich, 2016) e assentou na seguinte sequência de procedimentos: (1) Carregar as fotografias e escolher as que satisfazem o parâmetro de qualidade estabelecido no algoritmo, sendo eliminadas as fotografias com mais de 40% de área

desfocada (Shervais e Dietrich, 2016); (2) Alinhar as fotografias; (3) Adensar a nuvem de pontos; (4) Construir a malha triangular; (5) Criar a textura; (6) Extrair o ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS). As fotografias escolhidas para a construção do modelo foram alinhadas utilizando o método automático Scale Invariant Feature Transform (SIFT) (Lowe, 2004) onde em bloco foram identificados pontos correspondentes em imagens sobrepostas (Shervais e Dietrich, 2016). Com o conhecimento das coordenadas da fotografia foi realizada a orientação externa aproximada (Gonçalves *et al.*, 2015). Para produzir o modelo 3D foi densificada a rede de pontos dispersa utilizando o algoritmo Multi-View Stereo (Verhoeven, 2011) em que são escolhidos pontos homólogos entre duas fotografias num determinado intervalo espacial e construída uma malha triangular, denominada Mesh. Com as fotografias procedeu-se à texturização da Mesh. No final do processo são criados o ortomosaico e o MDS.

Cartografia de suscetibilidade à erosão hídrica

A cartografia de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica foi realizada através da integração do mapa dos estados erosivos com o mapa de erosividade da chuva. A informação dos estados erosivos baseou-se nas diretrizes de medição e mapeamento dos processos de erosão proposto pelo PAP/RAC (1997), desenvolvidas e posteriormente modificadas por outros autores (Bougonoviae *et al.*, 1999; Jordán, 2000; Jordán e Bellifante, 2000; Husnjak, 2001; Fernández, 2012). Este método baseia-se na aplicação de um sistema de informação geográfica que sobrepõe e integra diferentes tipos de informação, nomeadamente, declives e litofácies que intersetados dão origem ao mapa de erodibilidade do solo; a interseção do mapa

de ocupação do solo e da cobertura da vegetação determinado com o *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), gera o mapa de proteção do solo. Por último, intersetando os mapas de erodibilidade e de proteção do solo resulta o mapa dos estados erosivos, de acordo com a metodologia utilizada para realizar o mapeamento da suscetibilidade ao risco de erosão hídrica da Ravina dos “Caminhos de Ferro” (fig. 3).

Mapa dos declives

O mapa de declives foi obtido a partir do MDS. O cálculo do declive (d) de cada pixel (l, k) tem como base os valores de elevação (H) dos pixels vizinhos e a resolução espacial do mapa (R) (eq. 2).

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{H(l, k + 1) - H(l, k - 1)}{2R}\right)^2 + \left(\frac{H(l - 1, k) - H(l + 1, k)}{2R}\right)^2} \text{ (eq. 2)}$$

O declive foi classificado de acordo com os critérios de PAP/RAC (1997) (TABELA I).

TABELA I - Percentagem das classes de declive segundo a classificação de PAR/RAC (1997).

TABLE I - Percentage of slope classes according to PAP/RAC classification (1997).

Classes	Declives (%)
Suave (1)	0-3
Moderado (2)	3-12
Escarpado (3)	12-20
Muito Escarpado (4)	20-35
Extremo (5)	>35

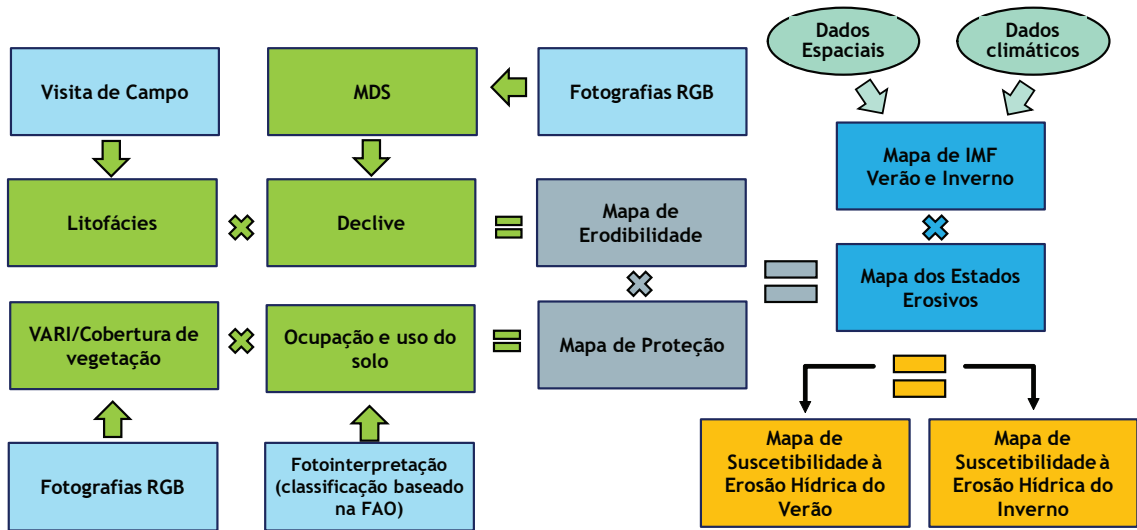


Fig. 3 - Metodologia do trabalho.

Fig. 3 - Workflow.

Mapa dos litofáceis

Para elaboração do mapa de litofácies, foi realizada uma visita de campo. Verificou-se que na área de estudo predominam os solos arenosos, sendo o solo da Ravina dos “Caminhos de Ferro” do tipo Siltoso, pelo que apresenta pouca plasticidade e baixa resistência (fot. 2). Estas propriedades tornam-nos solos muito suscetíveis à erosão, já que são constituídos por diferentes tipos de material, conforme mostra a classificação dos solos de acordo com PAP/RAC (1997) (TABELA II).



Fot. 2 - Solo siltoso da Ravina dos “Caminhos de Ferro” (Fotografia de Emmanuel Arsénio, 2017).

Photo 2 - Silt soil in the “Caminhos de Ferro” [Railway] Ravine (Photograph of Emmanuel Arsénio, 2017).

TABELA II - Classificação litológica de acordo com PAP/RAC (1997).

TABLE II - Lithologic classification according PAP/RAC (1997).

Classes	Tipo de Material
A	Rocha compactada não alterada, solos ou conglomerados fortemente cimentados, afloramentos de camadas endurecidas (caliças massivas, solos muito pedregosos, crostas, etc.)
B	Solos ou rochas coesivas fraturadas ou moderadamente alteradas
C	Solos ou rochas sedimentares ligeiras ou moderadamente alteradas
D	Solos ou rochas pouco resistentes ou profundamente alteradas (margas, gessos, xistos argilosos, etc.)
E	Solos ou sedimentos muito pouco coesivos ou materiais detríticos

Mapa de erodibilidade

O mapa de erodibilidade, foi obtido a partir do cruzamento do mapa de declives com o mapa de litofácies. A definição das classes de erodibilidade

baseou-se nos estudos desenvolvidos por PAP/RAC (1997): I- Baixa (Bx); II- Moderada (Md); III- Média (Md); IV- Alta (At); V- Extrema (Ex) (TABELA III).

TABELA III - Classes de erodibilidade: I- Baixa (Bx); II- Moderada (Md); III- Média (Md); IV- Alta (At); V- Extrema (Ex).

TABLE III - Erodibility classes: I- Low (Bx); II- Moderate (Md); III- Medium (Me); IV- High (At); V- Extreme (Ex).

Declives	Litofácies				
	A	B	C	D	E
1	I (Bx)	I (Bx)	I (Bx)	I (Bx)	II (Md)
2	I (Bx)	I (Bx)	II (Md)	III (Me)	III (Me)
3	II (Md)	II (Md)	III (Me)	IV (At)	IV (At)
4	III (Me)	III (Me)	IV (At)	V (Ex)	V (Ex)
5	IV (At)	IV (At)	V (Ex)	V (Ex)	V (Ex)

Mapa de cobertura da vegetação

O mapeamento da cobertura da vegetação foi determinado através do cálculo do índice resistente à atmosfera na região do visível (VARI), proposto por Gitelson (2002) e com visitas de campo. Este índice determina os valores verde da vegetação usando somente a radiação do visível (azul: 0,45 mm - 0,52 mm; verde: 0,52 mm - 0,60 mm; e vermelho: 0,63 mm - 0,69 mm) e minimizando o efeito da atmosfera (eq. 3).

Os valores de VARI, obtidos no período da estação seca (pior cenário de cobertura vegetal), foram agrupados com base no algoritmo *Cluster* (Richards, 1983), tendo resultado três classes: Sem vegetação (< 0,29), Vegetação dispersa (0,29 - 0,32] e Vegetação densa (>0,32). Para avaliar a precisão do resultado da classificação, foi realizada uma validação *in situ*. Determinou-se uma matriz de erro em que foi calculada a precisão geral, a precisão do utilizador e do produtor e o coeficiente kappa.

Para avaliar a acurácia do resultado da classificação, os pixels classificados foram comparados com a localização conhecida da verdade do solo. Para isso foi calculada a matriz de erros e a avaliação da acurácia (precisão geral, usuário, precisão do produtor) e coeficiente kappa (Waltz *et al.*, 2007). Uma nova visita à área de estudo permitiu ajustar as classes de cobertura da terra, associadas ao COS2007

Com base nos valores de VARI e com a identificação *in situ*, de áreas amostrais, verificou-se que a cobertura da vegetação poderia ser classificada segundo três classes: Sem Vegetação (< 0,29), dispersa (0,29 - 0,32] e Densa (>0,32).

$$VARI = \frac{Verde - Vermelho}{Verde - Vermelho + Azul} \quad (\text{eq. 3})$$

Mapa de ocupação do solo

As classes de ocupação de solo foram criadas com base na fotointerpretação dos ortofotomapas e com visita de campo. Foram consideradas seis classes de ocupação: Savana; Areia, Vegetação arbustiva; Urbano; Água; e Agrícola.

Mapa de proteção do solo

O mapa de proteção do solo foi obtido a partir do cruzamento do mapa da cobertura da vegetação com o mapa de uso e ocupação do solo.

De acordo com Jordán *et al.* (2000) são considerados seis níveis de proteção: 1- Muito Alta (MA); 2- Alta (A); 3- Média (M); 4- Baixa (B); 5- Muito Baixa (MB); e Sem Proteção (SP). Cruzando da informação para a respetiva área de estudo verifica-se que nem todos estes níveis estão presentes (TABELA IV).

TABELA IV - Classes de proteção do solo: 1- Muito Alta (MA); 3- Média (M); 4- Baixa (B); 5- Muito Baixa (MB); Sem Proteção (SP).

TABLE IV - Soil protection classes: 1- Very High (MA); 3- Medium (M); 4- Low (B); 5- Very low (MB); Unprotect (SP).

Uso e Ocupação do solo	Cobertura da vegetação		
	Sem Vegetação	Dispersa	Densa
Savana	SP	5 (MB)	4 (B)
Areia	SP	5 (MB)	4 (B)
Vegetação Arbustiva	SP	5 (MB)	4 (B)
Urbano	SP	SP	SP
Água	SP	SP	SP
Agrícola	SP	3 (M)	1 (MA)

Mapa dos estados erosivos

O mapa dos estados erosivos resultou do cruzamento do mapa de erodibilidade com o mapa de proteção do solo. Com base em PAP/RAC (1997) e adaptando à área de estudo, os estados erosivos são classificados em cinco classes: 1- Muito baixo (Mb); 2- Baixo (Bx); 3- Médio (Me); 4- Alto (At); e 5- Muito alto (Ma). A TABELA V mostra o cruzamento da informação para a área de estudo.

TABELA V - Classes dos estados erosivos: 1- Muito baixo (Mb); 2- Baixo (Bx); 3- Médio (Me); 4- Alto (At); e 5- Muito alto (Ma).

TABLE V - Soil protection classes: 1- Very low (Mb); 2- Low (Bx); 3- Medium (Me); High (At); and Very high (Ma).

Erodibilidade	Proteção do solo				
	1 (MA)	3 (M)	4 (B)	5 (MB)	SP
II (Md)	1 (Mb)	2 (Bx)	3 (Me)	3 (Me)	4 (At)
III (Me)	1 (Mb)	3 (Me)	3 (Me)	4 (At)	5 (Ma)
IV (At)	2 (Bx)	4 (At)	5 (Ma)	5 (Ma)	5 (Ma)
V (Ex)	2 (Bx)	4 (At)	5 (Ma)	5 (Ma)	5 (Ma)

Mapa de erosividade da chuva

O estudo da erosividade da chuva é importante para o conhecimento da erosão de uma região. Uma vez que este trabalho de investigação trata do estudo da suscetibilidade do solo à erosão hídrica e a sua contribuição na formação de ravinas, foi determinado, o Índice Modificado de Fournier (IMF; Arnouldus, 1978). Este índice estima a agressividade da chuva tendo em conta a precipitação em todos os meses do ano.

O IMF é determinado pela relação que existe entre a precipitação mensal (p_i) e a precipitação anual (p_t) (eq. 4), medida em n estações meteorológicas.

$$IMF = \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{p_t} \quad (\text{eq. 4})$$

Para determinar o IMF, foi necessário obter dados de precipitação que nem sempre estão disponíveis devido à escassez e à falta de manutenção das estações meteorológicas. Verifica-se que na área de estudo apenas existem duas estações meteorológicas, a do Luena (11) e a de Santo Caloto (17), assim foi necessário alargar a área de estudo à província de Moxico, por forma a ter mais estações meteorológicas, dezoito no total (fig. 4).

No entanto, mesmo alargando a área de estudo constatou-se que o número de estações meteorológicas não era suficiente para mapear a agressividade da chuva a uma escala compatível à resolução espacial do ortomosaico da área da ravina. Para colmatar a falta de dados de precipitação, recorreu-se a variáveis que poderiam estar correlacionadas com a precipitação, nomeadamente, altitude, temperatura média, orientação das vertentes, insolação e a posição geográfica.

Os valores de altitude (c) foram obtidos a partir do Modelo Digital Elevações (MDE) da província do Moxico, extraído U.S. Geological Survey Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (Danielson e Gesch, 2011), com uma resolução espacial de aproximadamente 230 m.

O mapa da temperatura média foi obtido a partir do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Angola (INAMET).

As orientações das vertentes (A) foram obtidas com base no MDE e a partir da eq. (5) (Zhou, 2004):

$$A = 270^\circ + \arctan\left(\frac{f_x}{f_y}\right) - 90^\circ \frac{f_x}{|f_y|} \quad (\text{eq. 5})$$

Onde, f_x e f_y são os gradientes nas direções W-E e N-S, respetivamente.

O mapeamento da insolação foi criado com base no MDE, na latitude do lugar e o número do dia em que tem início o inverno e o verão (TABELA VI). Foram elaborados os mapas de insolação para cada uma das 2 estações do ano

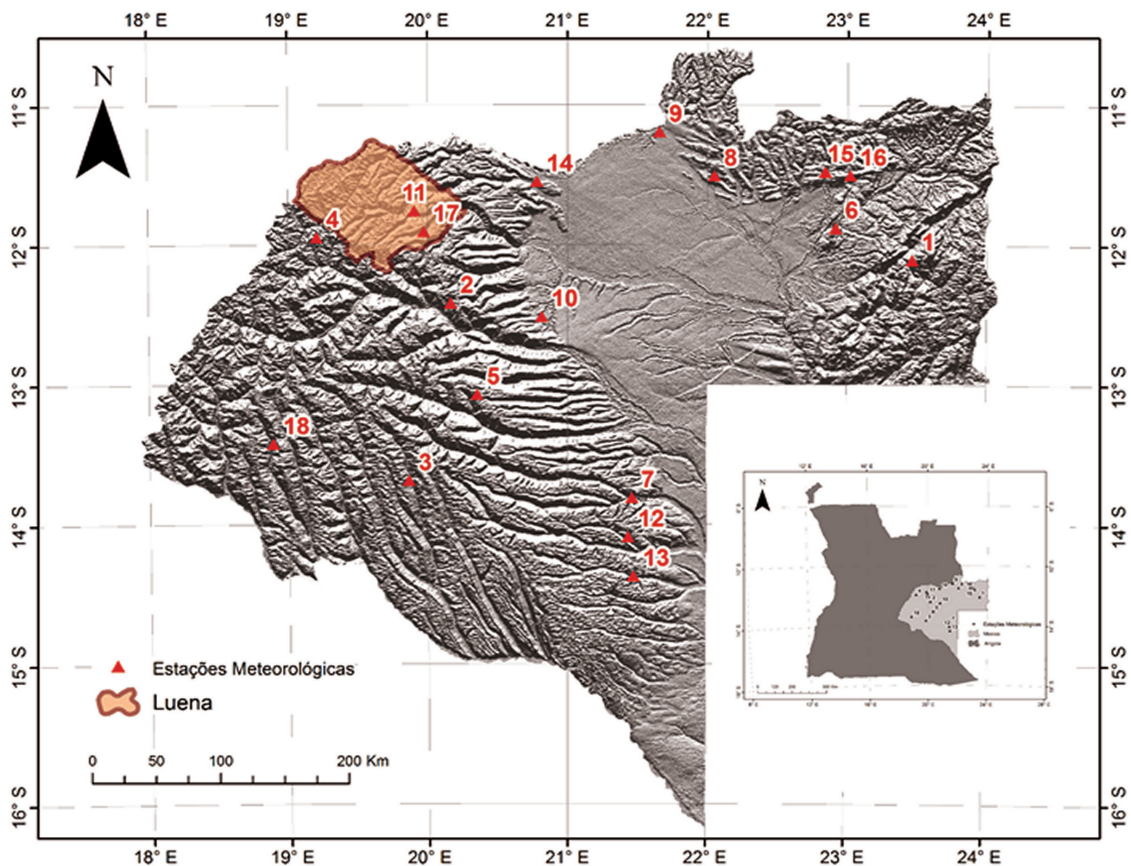


Fig. 4 - Distribuição das 18 estações meteorológicas da província de Moxico.

Fig. 4 - Distribution of the 18 meteorological stations in Moxico province.

determinando-se o grau de iluminação das vertentes em cada hora de luz e a existência de zonas de sombra pela influência da topografia do terreno. Foi obtida a média dos valores de insolação em cada período em Watt h/m².

TABELA VI - Início de verão e inverno e latitude da região.
TABLE VI - Start of summer and winter and latitude of the region.

	Inverno	Verão
Latitude	-13°, 381	
Dia do Ano	135	227

A modelação do IMF, foi realizada com base na metodologia utilizada por Fernández (2012). À priori foi realizado o estudo das correlações entre a variável resposta (IMF) e as variáveis explicatórias (altitude, temperatura média, orientação das vertentes, insolação e a posição geográfica), sendo depois encontrada uma regressão multilinear que melhor explicasse o IMF (eq. 6) para uma confiança de 95% (ajustamento do modelo (R²) e o p-value). Também foram avaliados os resíduos considerando as quatro premissas: Normalidade, Homogeneidade da variância, Independência e a Distância de Cook. Tendo em conta

que a área de estudo é caracterizada apenas por duas estações do ano, uma estação seca (inverno) e outra, chuvosa (verão), foram determinados dois modelos de regressão multilinear, um para o IMF de inverno e outro para o IMF de verão.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (\text{eq. 6})$$

Onde, y_i é a variável resposta, β_0 é a ordenada na origem, b_j ($j=1, \dots, k$) são os coeficientes de regressão e x_i as variáveis explicatórias.

Com base nas equações da regressão multilinear foram obtidos os mapas IMF de inverno e verão da província de Moxico, de acordo com a classificação do IMF segundo Corine CEC (1992) (TABELA VII).

TABELA VII - Classificação do IMF de acordo com Corine-CEC (1992).
TABLE VII - MFI [Modified Fournier Index] classification according Corine-CEC (1992).

IMF (mm)	Classificação
< 60	I Muito Baixo
60 - 90	II-Baixo
90 - 120	III-Moderado
120 - 160	IV-Alto
>160	V-Muito alto

Mapa de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica

O mapa de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica para o inverno e o verão foram obtidos pelo cruzamento do mapa do Índice Modificado de Fournier (IMF) do inverno e do verão com o mapa dos estados erosivos. De acordo com Jordán *et al.* (2000), a suscetibilidade ao risco de erosão hídrica é classificada em cinco classes: 1 - Muito Baixa (MB); 2- Baixa (B); 3- Média (Me); 4- Alta (A); e 5- Muito Alta (MA), a qual foi aplicada à área de estudo (TABELA VIII).

TABELA VIII - Classes de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica:
1 - Muito Baixa (MB); 2- Baixa (Bx); 3- Média (Me); 4- Alta (A);
5- Muito Alta (MA).

TABLE VIII - Hydric erosion susceptibility classes:
1 - Very low (MB); 2- Low (Bx); 3- Medium (Me); 4- High (A);
5- Very high (MA).

Estados Erosivos	IMF	
	inverno IMF (< 60 mm)	verão IMF (> 160 mm)
1 (Mb)	1 (MB)	2 (Bx)
2 (Bx)	1 (MB)	3 (Me)
3 (Me)	1 (MB)	4 (A)
4 (At)	2 (Bx)	5 (MA)
5 (MA)	3 (Me)	5 (MA)

Resultados e discussão

O ortomosaico (fig. 5) e o MDS (fig. 6) que serviram de base para o trabalho de investigação têm uma resolução espacial de 6 cm e foram obtidos, repetitivamente, com o *Agisoft PhotoScan*.

No mapa de declives obtido para a ravina dos “Caminhos de ferro” cerca de 67% dos declives estão classificados de moderado a escarpado (declives entre 3 a 20%) e apenas 5% da área apresenta declives extremos (declives >35%) (fig. 7).

De acordo com a classificação de PAP/RAC (1997) a área de estudo é classificada em termos de litofácies como pertencente à classe E em que o solo é constituído por materiais detríticos pouco coesivos.

No mapa de erodibilidade resultante do cruzamento da cartografia dos declives com as litofácies cerca de 43% da área está classificada com erodibilidade Moderada, 52% com erodibilidade Alta e Extrema e apenas 5% com erodibilidade média. A classe de erodibilidade baixa não está representada na área de estudo (fig. 8).

A precisão geral da classificação Cluster foi de 85% e o coeficiente Kappa de 0,80. O valor mais elevado de precisão do utilizador verificou-se nas classes Sem vegetação e de Vegetação densa, com 97% e 74%, respetivamente. O valor mais elevado de precisão do produtor verificou-se nas classes Sem vegetação e de Vegetação densa, com 94% e 72%, respetivamente. Os valores das precisões obtidas validam a classificação. A

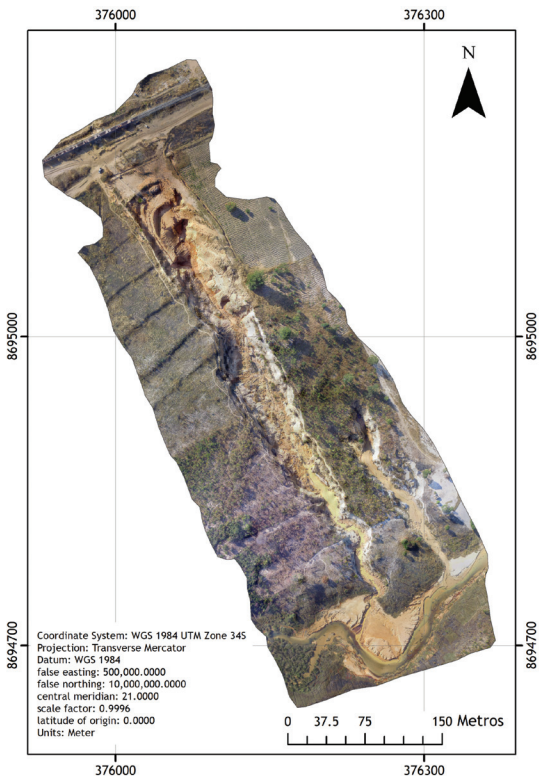


Fig. 5 - Ortomosaico obtido com o *Agisoft PhotoScan*.

Fig. 5 - Orthomosaic obtained with *Agisoft PhotoScan*.

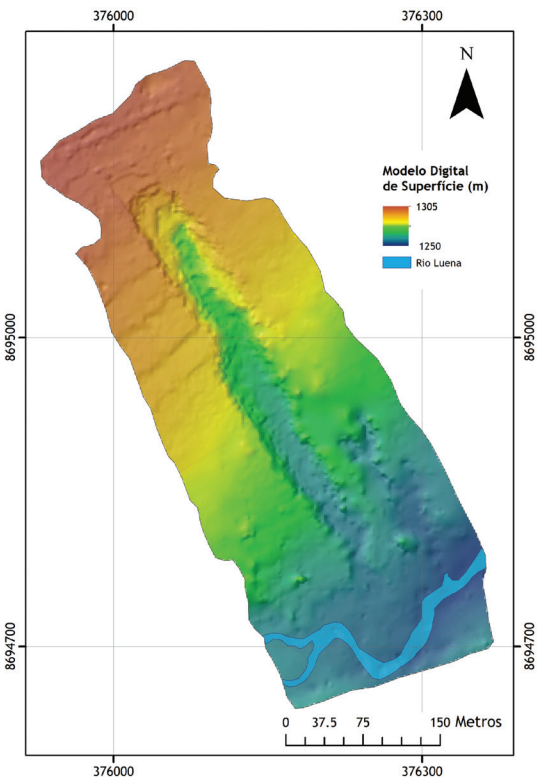


Fig. 6 - MDS obtido com o *Agisoft PhotoScan*.

Fig. 6 - DSM (Digital Surface Model) obtained with *Agisoft PhotoScan*.

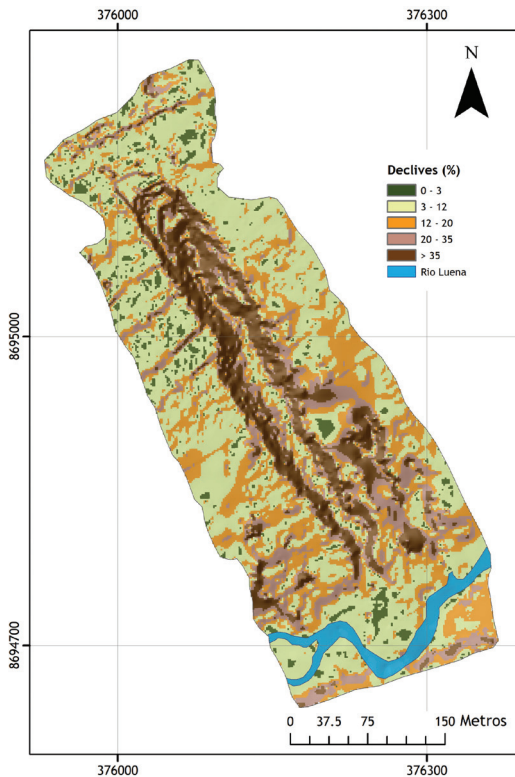


Fig. 7 - Mapa dos declives
Fig. 7 - Slope map.

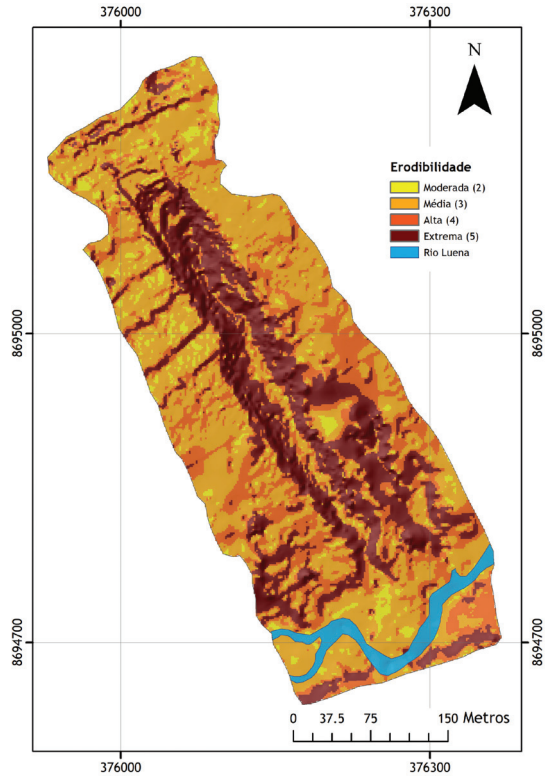


Fig. 8 - Mapa de erodibilidade.
Fig. 8 - Erodibility map.

distribuição espacial na área de estudo das classes de cobertura de vegetação mostra que a maior parte da área é classificada na classe Sem vegetação (fig. 9).

No que respeita à de ocupação e uso do solo da Ravina dos “Caminhos de Ferro” foram caracterizadas seis classes de ocupação: Savana; Areia, Vegetação arbustiva; Urbano; Água; e Agrícola (fig. 10).

Através do cruzamento do mapa da cobertura da vegetação com o mapa ocupação e uso do solo a área de estudo em termos de proteção ficou classificada segundo cinco classes de proteção do solo: Muito Alta, Média, Baixa, Muito Baixa e Sem Proteção (fig. 11). Verifica-se que 73% da área foi classificada Sem Proteção, 16% Muito baixa e 8% Baixa. As classes Muito Alta e Média têm apenas 3% de representatividade na área de estudo.

O mapa dos estados erosivos (fig. 12) resultado do cruzamento do mapa de erodibilidade com o mapa de proteção do solo mostra que cerca de 86% da área é classificada na classe de Muito alto, 7% alto e 6% médio. As classes Muito Baixo e Baixo não têm representatividade, cerca de 1%.

O mapeamento da erosividade da chuva (IMF) do inverno produzido com a regressão multilinear utilizou as variáveis explicatórias da altitude (C) e da temperatura (T) (eq. 7). O modelo IMF obtido com estas variáveis apresentou estatisticamente um ajustamento de R^2 de cerca de 60% e

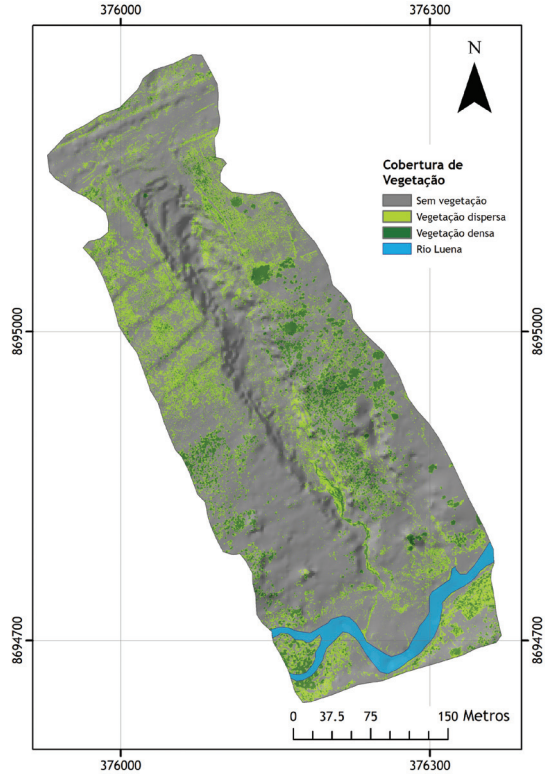


Fig. 9 - Mapa de cobertura da vegetação.
Fig. 9 - Vegetation cover map.

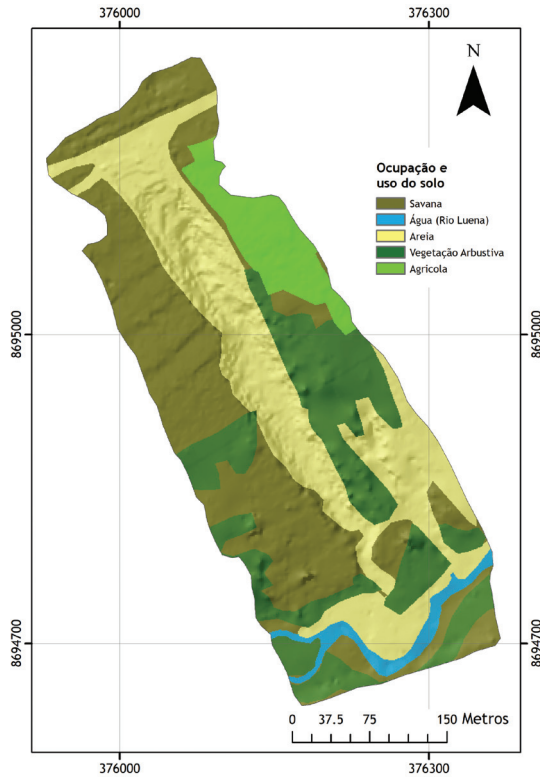


Fig. 10 - Mapa de ocupação e uso do solo.

Fig. 10 - Land cover/use map.

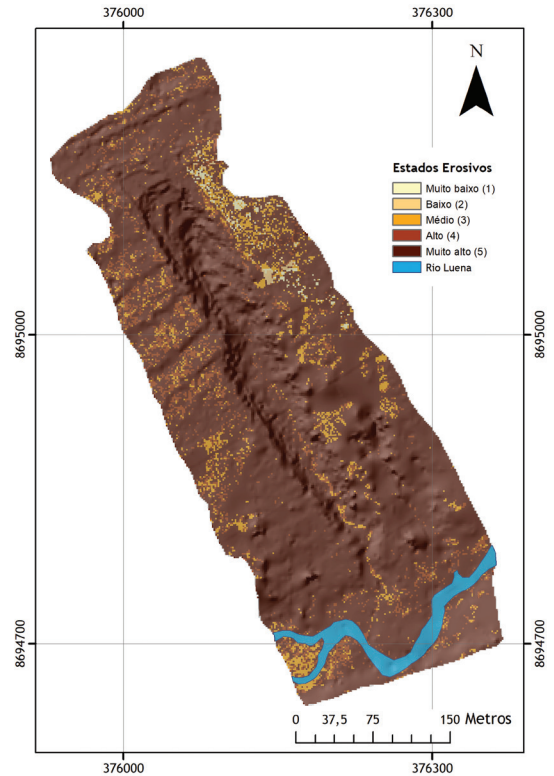


Fig. 12 - Mapa dos estados erosivos.

Fig. 12 - Erosive status map.

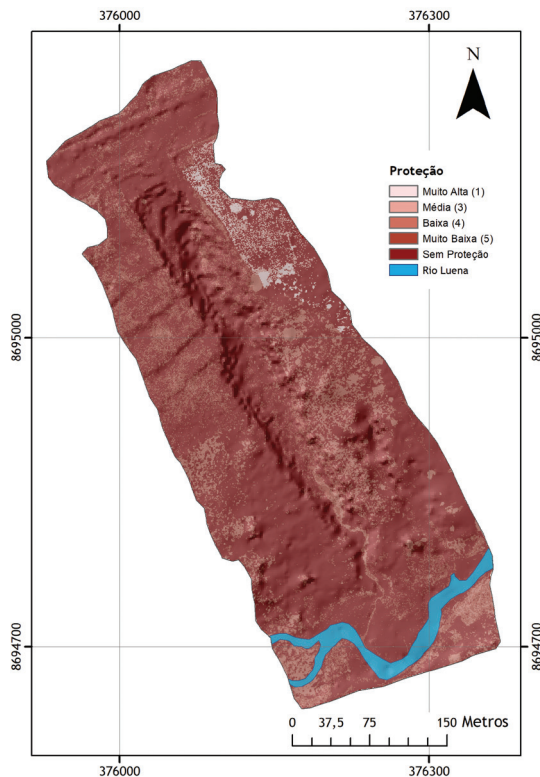


Fig. 11 - Mapa de proteção do solo.

Fig. 11 - Soil protection map.

um p-value $0,003209 \times 10^{-3}$ inferior à incerteza de 0,05 (fig. 13). Foram também verificadas as quatro premissas dos resíduos, independência, homogeneidade e normalidade dos resíduos e a distância de Cook inferior a 0,5.

O mapeamento do IMF do verão determinado com a regressão multilinear utilizou as variáveis explicatórias da posição geográfica (M e P), altitude (C), orientação das vertentes (A) (eq. 8). O modelo de IMF apresentou estatisticamente um ajustamento de R^2 de cerca de 90% e um p-value $3,641 \times 10^{-7}$ inferior à incerteza de 0,05. Foram também verificadas as quatro premissas dos resíduos, independência, homogeneidade e normalidade dos resíduos e a distância de Cook inferior a 0,5.

Pelo estudo univariado dos resultados do IMF verificou-se que no inverno o valor mínimo é 0 mm, o médio 6,9 mm e o máximo é 13 mm. No verão o mínimo é 160 mm, o médio 187,4 mm e o máximo 230 mm. De acordo com a classificação de Corine-CEC (1992) (TABELA VII), em toda a província do Moxico, o IMF de inverno está classificado muito baixo (< 60) e de verão muito alto (> 160).

A suscetibilidade ao risco de erosão hídrica do inverno e do verão resultou do cruzamento do mapa do IMF do inverno e do verão, respetivamente, com o mapa dos estados erosivos (fig. 14 e fig. 15). Verificou-se que no inverno existem três classes de suscetibilidade ao risco de erosão hídrica: Média; Baixa e Muito Baixa. Cerca de 86% da área foi classificada

$$IMF_{inverno} = -0.00982 \times C - 1.70918 \times T - 54.33171 \quad (\text{eq. 7})$$

$$IMF_{verão} = 0.00007 \times M + 0.00005 \times P + 0.03172 \times C + 0.01118 \times A - 348.90000 \quad (\text{eq. 8})$$

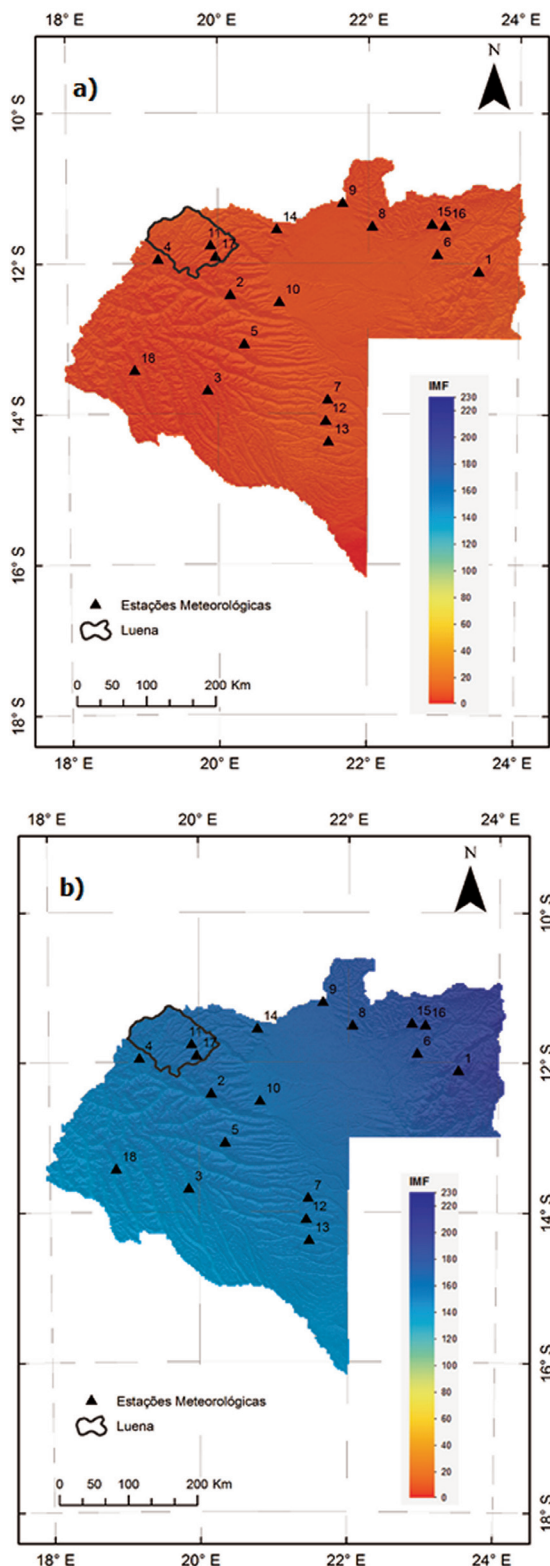


Fig. 13 - Mapa do IMF de inverno a); Mapa do IMF do verão b).

Fig. 13 - Winter MFI map a); Summer MFI map b).

com suscetibilidade Média, 8% Baixa e 6% Muito Baixa. No verão, 86% foi classificado com suscetibilidade ao risco de erosão Muito Alta, 7% Alta e 6% Média. As classes de Muito Baixa e Baixa apresentam pouca representatividade (1%).

A evolução da ravina, obtida a partir das imagens do *Google Earth*, de 29 de setembro de 2011, 12 de julho de 2013, 4 de maio de 2016, 21 de setembro de 2017 e 2 de maio de 2018 mostra que o caminho, com cerca de 420 m de comprimento, que existia em 2011 (representado a castanho na fig. 16), evoluiu para uma ravina. Em 2013 já ocupava uma área de 0,9 ha e um perímetro de 882 m, em 2016 aumentou para 2,9 ha e para um perímetro de 1629 m, 2017 para 3,5 ha de área e 1666 m de perímetro e em 2018 para 4,1 ha de área e 1679 m de perímetro. Entre o período de 2013 e 2016 a ravina aumentou de 69%, entre os períodos de 2016-2017 e 2017-2018, aumentou 17% e 15%, respetivamente (fig. 16). Os valores apresentados mostram que os modelos de suscetibilidade do risco de erosão, obtidos neste estudo, estão em conformidade com o processo evolutivo. De acordo com a fig. 16, verifica-se que a progressão da ravina se desenvolve de jusante para montante da linha de água. As eventuais causas da evolução da ravina é a existência de terrenos arenosos não protegidos (queimadas e desflorestação), dos declives acentuados e das precipitações intensas. No período de 2013 a 2016 ocorreram, na área de estudo, episódios de precipitação extrema. Salienta-se os episódios destacados pelos *media*: (i) em 15 março de 2013, a circulação do comboio do caminho-de-ferro de Benguela (CFB) no troço Kuito (Bié) e Luena (Moxico) esteve interdita devido ao surgimento de uma ravina provocada pelas constantes chuvas que caíram sobre a região (ANGOP, 2013). Segundo a agência Lusa (2013) a precipitação intensa aumentou a progressão das ravinas ameaçando residências e edifícios públicos, sendo os bairros Kuenha, Bomba, 4 de Fevereiro, Zorro, Sangondo e Aço os mais afetados; (ii) em 16 de novembro de 2016 as enxurradas deixaram 10 residências sem tetos, quatro desabamentos de terras que provocaram um ferido ligeiro de uma pessoa residente no bairro 04 de Fevereiro, arredores da cidade do Luena (ANGOP, 2016).

De acordo com o modelo, as linhas de água localizadas a oeste da ravina poderão potenciar o processo erosivo na zona que ainda não foi erodida, caso os *Stakeholders* não tomem medidas de prevenção.

A observação de ravinas com o mesmo cenário de evolução, estão presentes em diversas zonas da cidade, nomeadamente, a ravina das “Sete Cunhas” no centro urbano da cidade.

Constata-se que as entidades competentes têm agido por forma a evitar a progressão das ravinas, em particular a realização de trabalhos de contenção, nomeadamente, a construção de taludes, valas e canaletas (fot. 1 e fot. 3).

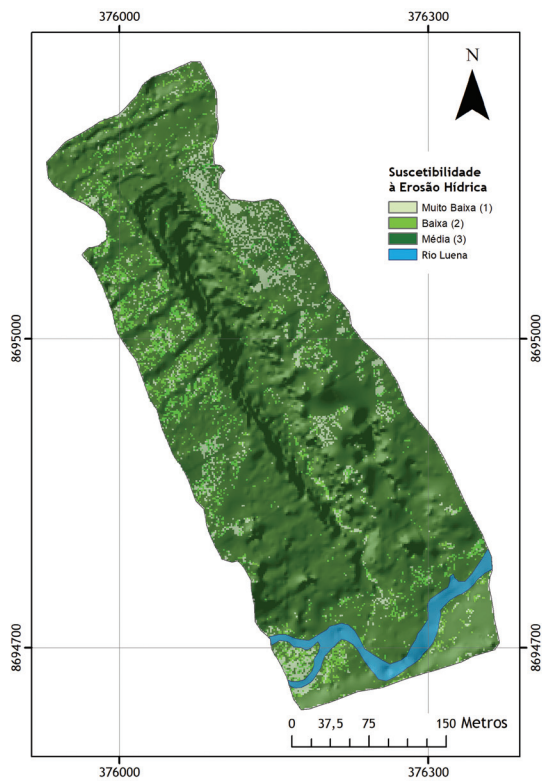


Fig. 14 - Mapa da suscetibilidade ao risco de erosão hídrica do inverno.

Fig. 14 - Erosion risk susceptibility map (Winter).

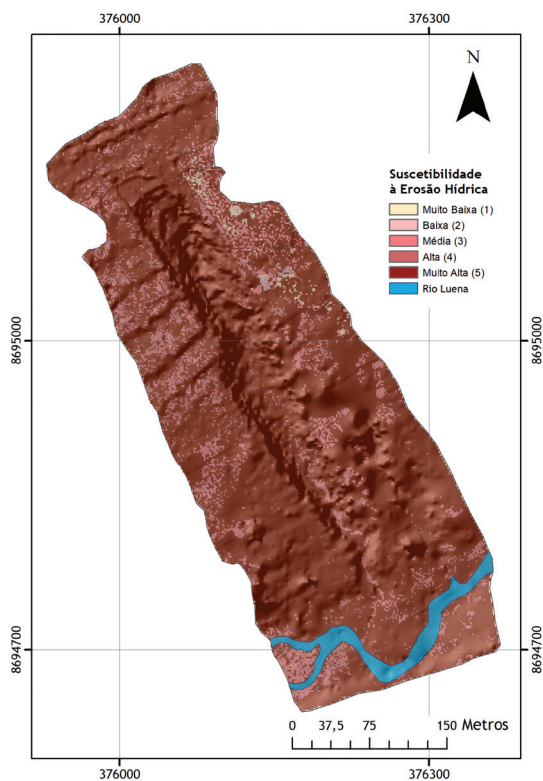


Fig. 15 - Mapa da suscetibilidade ao risco de erosão hídrica do verão.

Fig. 15 - Erosion risk susceptibility map (Summer).

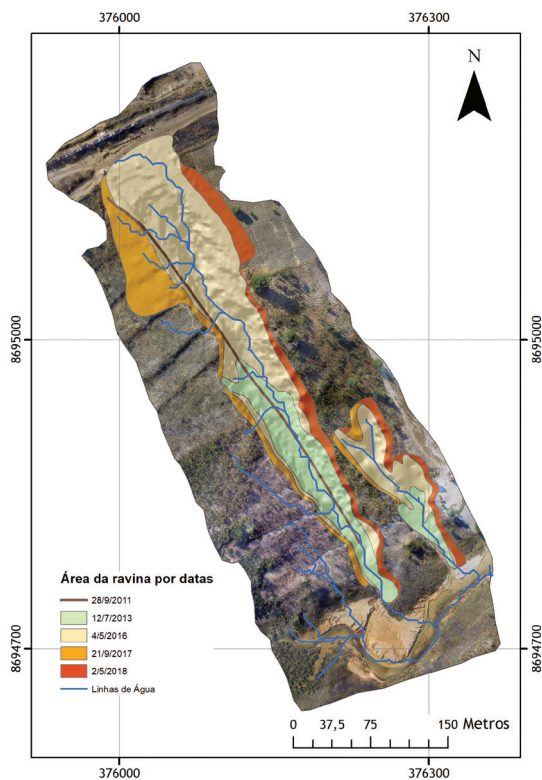


Fig. 16 - Mapa da evolução da ravina entre 2011-2018.

Fig. 16 - Ravine development map between 2011-2018.



Fot. 3 - Trabalhos de contenção da Ravina das “Sete Cunhas” (Fonte: Google Earth).

Photo 3 - Works to stop the development of the “Sete Cunhas” Ravine (Source: Google Earth).

Conclusão

Os VANT são uma tecnologia emergente. A versatilidade, a facilidade de operação e os baixos custos tornam-nos adequados para a aquisição de imagens aéreas cobrindo áreas de dimensão média. As imagens aéreas obtidas pelos VANT permitem produzir ortofotomapas e MDS com uma relação custo/benefício bastante atrativa. A utilização de câmaras de alta resolução e vôos de baixa altitude, permite espacializar a informação com alta resolução. Uma limitação do uso de VANT é o processamento moroso da informação que exige equipamento informático com grande capacidade de memória.

Este trabalho de investigação baseou-se em num ortofotomapa e num MDS com 6 cm de resolução espacial

A área de estudo, a ravina dos “Caminhos de Ferro” localizada em Angola, no município de Moxico (província de Moxico) mais propriamente na cidade do Luena, reúne as condições propícias à ocorrência de ravinamentos no período chuvoso (com IMF superior a 160 mm), nomeadamente, a altitude acima de 1250 m, os declives acentuados, os solos siltosos e a pouca vegetação.

Pelas imagens do Google Earth, em 2011 não se observaram novos ravinamentos, no entanto a partir de 2013 até 2018 ocorreu uma evolução na ravina associada a vários fatores, como a suburbanização, as práticas inadequadas de agricultura tradicional, o desmatamento e as queimadas.

O modelo apresentado não pretende quantificar a perda de solo, mas sim expressar a suscetibilidade à erosão hídrica. No período seco a área de estudo apresentou classes suscetibilidade Muito Baixa (6%), Baixa (8%) e Média (86%). No período chuvoso as classes de suscetibilidade foram classificadas como Média (6%), Alta (7%), Muito Alta (86%). Neste mesmo período as classes Muito Baixa e Baixa apresentaram pouca representatividade (1%).

As imagens do Google Earth posteriores à data em que foi realizado o voo fotogramétrico (20 de junho de 2016), confirmam que o processo de erosão continua presente. Entre os períodos de 2016-2017 e 2017-2018, aumentou 17% e 15%.

A região apresenta assim uma fragilidade ambiental que é intensificada pela presença de fenómenos naturais extremos, como as grandes chuvas. Este fenómeno de ravinamento coloca em perigo a vida humana, as infraestruturas como é o caso da linha de caminho de Ferro que liga porto de Lobito à vila de Luau, e limita o aproveitamento dos solos.

O Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF) do Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural (MINADER) em conjunto com o governo local tem vindo

a desenvolver programas de sensibilização da população para o desencorajamento de práticas de queimadas florestais, plantação massiva de vegetação e técnicas de engenharia civil para contenção da progressão das ravinas. O resultado desta ação pode ser observado no local e nas imagens do Google Earth de 21 de setembro de 2017 e 2 de maio de 2018.

O modelo obtido poderá ser melhorado com introdução de simulações hidrológicas para estimar o fluxo de água e a quantidade de sedimentos arrastados anualmente (ou outros períodos mais curtos) na ravina. Um modelo hidrológico construído com o HEC-RAS do “The U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC)” seria uma das hipóteses, uma vez que a ferramenta HEC-GeoRAS permite processar dados geoespaciais no ArcGIS. A importância de Modelos Digitais de Terreno com boa resolução espacial e temporal e a aquisição de dados meteorológicos mensais desde a época em que começou o processo de erosão, são aspetos chave para uma boa modelação.

Bibliografia

- Agência Lusa (2013, 15 de março). *Chuvas fortes no leste de Angola provocaram já seis mortos e milhares de desalojados*. https://www.rtp.pt/noticias/mundo/chuvas-fortes-no-leste-de-angola-provocaram-ja-seis-mortos-e-milhares-de-desalojados_n635895. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.
- ANGOP, Agência Angola Press. (2013, 15 de março). *Chuva interdita circulação do comboio no troço Kuito/Luena*. http://www.angop.ao/angola/pt_pt/especiais/reconstrucao-nacional/2013/2/11/Chuva-interdita-circulacao-comboio-troco-Kuito-Luena,871df9ea-b940-450c-a39f-13feb96b65e9.html. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.
- ANGOP, Agência Angola Press. (2016, 16 de novembro). *Moxico: Chuva desaloja mais de 100 pessoas no Léua e arredores do Luena*. http://www.angop.ao/angola/pt_pt/noticias/sociedade/2016/10/46/Moxico-Chuva-desaloja-mais-100-pessoas-Leua-arredores-Luena,e1182628-9d67-43c1-a683-4896b0d6e77c.html. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.
- Arnoldus, H. M. J. (1980). *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*, 127-132.
- Bougonoviae M., Husnjak S., Kusan V., Vidacek, Z., Sraka M., Alexandra M. (1999). Assessment of soil erosion by water in the Butoniga catchment area in Croatia. En: Bech J (ed.). *6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate. Extended Abstracts*. UB Publicacions. Barcelona, 997-999.

- CORINE-CEC. (1992). *CORINE soil erosion risk and important land resources. An assesment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk*. Office for official publications of the European Communities. EUR 13233. Luxemburgo.
- Danielson, J. J., and Gesch, D. B. (2011). *Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010)*, US Geological Survey. *Open File Rep.*, 2011-1073, 25 p.
- Diniz, A. C. (2006). *Características Mesológicas de Angola, Descrição e Correlação dos Solos e da Vegetação das Zonas Agrícolas Angolanas*. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Lisboa, 546 p.
- do Ambiente, R. D. E. G. em Angola. (2006). Programa de Investimento Ambiental. *Ministério do Urbanismo e Ambiente*, 326 p.
- Fernández, H. M. N. P. V. (2012). *Elaboración de un modelo digital del terreno de la zona norte de la Sierra de Grândola (Alentejo, Portugal)* (Tesis Doctoral, no publicado), Universidad de Sevilla, Sevilla
- Ferreira, J. C., Diogo, J. J. (2015). Mitigação do efeito da erosão do solo na cidade do Luena: Contenção de ravinas e gestão sustentável dos solos. In *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Aveiro*. Disponível em: http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/1B4-Artigo_006.pdf. [Acedido em 17 de dezembro de 2017]
- Frankl, A., Poesen, J., Deckers, J., Haile, M., and Nysen, J. (2012). Gully head retreat rates in the semi-arid highlands of Northern Ethiopia. *Geomorphology*, 173, 185-195.
- Gitelson, A. A., Stark, R., Grits, U., Rundquist, D., Kaufman, Y., and Derry, D. (2002). Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2537-2562.
- Gonçalves, J. A., Bastos, L. and Yan W. (2015). Georreferenciação direta rigorosa de imagens aéreas com GNSS e técnica de *structure from motion*. *VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa*. Disponível em: http://viiiicncg.ordemengenhadores.pt/fotos/editor2/VIIICNCG/cncg2015_comunicacao_77.pdf. [Acedido em 10 de novembro de 2017]
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA DE ANGOLA - INAMET. (2016). Disponível em: <http://ciencia.ao/sistema-nacional-de-ciencia/instituicoes-de-investigacao-cientifica-e-desenvolvimento/92-instituto-nacional-de-geofisica-e-meteorologia>. [Acedido em 31 de agosto de 2016].
- Jordán A. (2000). *El medio físico del Campo de Gibraltar. Unidades georfoedáficas y riesgo de erosión*. (Tesis Doctoral no publicado), Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Jordán A., Bellinfante N. (2000). Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología* 7-3, 83-92.
- Jordán, A., Zavala, L. M. and Bellinfante, N. (2000). Assessment of the erosion risks in humid Mediterranean areas. In *Workshop On Technologies For And Management Of Erosion And Desertification Control In The Mediterranean Region, Priority Actions Programme, UNEP, Malta*, 1-13.
- Husnjak, S. (2001). Investigating erosion in the Butoniga River catchment area. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo*, 9(35), 127.
- Kheir, R., Wilson, J. and Deng, Y. (2007). Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surf. Process. Landforms*, 32, 1770-1782.
- Le Roux, J. J., Morgenthal, T. L., Malherbe, J., Pretorius, D. J. and Sumner, P. D. (2008). Water erosion prediction at a national scale for South Africa. *Water SA*, 34(3), 305-314.
- Lesschen, J. P., Stoorvogel, J. J., Smaling, E. M. A., Heuvelink, G. B. M. and Veldkamp, A. (2007). A spatially explicit methodology to quantify soil nutrient balances and their uncertainties at the national level. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78(2), 111-131.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Marques, M. M. (1977). Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola. *Instituto de Investigação Científica Tropical, Garcia de Orta, Serviços Geológicos, Lisboa*, 2(1), 41-43.
- Martinez-Casasnovas (2003). A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena, Elsevier*, 50, 293-308.
- Martins, B., Lourenço, L. and Monteiro, S. (2018). Natural Hazards in Sao Vicente (Cabo Verde). *Journal of Environmental Geography*, 11(1-2), 1-8.
- Mutowo, G. e Chikodzi, D. (2013). Erosion Hazard Mapping in the Runde Catchment: Implications for Water Resources Management. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 1(1), 22-28.
- Nunes, M. S. D. e Quinta-Nova, L. C. (2015). Cartografia do risco de incêndio florestal e do risco de erosão hídrica no concelho de Pampilhosa da Serra. *Agroforum*, (34), 7-21.
- Okou, F. A., Tente, B., Bachmann, Y. and Sinsin, B. (2016). Regional erosion risk mapping for decision support: A case study from West Africa. *Land Use Policy*, (56), 27-37.

- PAP/RAC. (1997). *Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas*. PAP-8/PP/GL.1. PAP/RAC (MAP/UNEP). Split.
- Poesen J. W, Vandaele K. and Van W. B. (1998). Gully erosion: importance and model implications. In: Boardman, J., Favis- Mortlock, D. (Eds.), *Modelling Soil Erosion by Water*. NATO AS Series, Springer-Verlag, Berlin. I (55), 285-311.
- Richards A. J. (1983). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, Springer-Verlag, New York, 127-142.
- Shervais, K. and Dietrich J. (2016). *Structure from Motion (SfM) Photogrammetry Data Exploration and Processing Manual*. Guide. Unavco, 28 p.
- Velasco, I., & Cortés, G. (2009). Indices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. In *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes*, 431-434. Universidad de Murcia.
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft-archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photostan. *Archaeological Prospection*, 18(1), 67-73.
- Zavala, L. M. M. (2001). *Análisis territorial de la comarca del Andévalo Occidental: una aproximación desde el medio físico* (Tesis Doctoral no publicado), Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Zhou, Q. and Liu, X. (2004). Error analysis on grid-based slope and aspect algorithms. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(8), 957-962.