

Associação Portuguesa de Geomorfólogos – Volume XI

# Geomorfologia 2019

Que futuro para a  
Geomorfologia?



Guimarães - 2019

## ***Eventos hidrometeorológicos gravosos e inundações urbanas na cidade do Lubango: desafios para o OT.***

### ***Heavy hydrometeorological events and urban floods at the city of Lubango: challenges for spatial planning.***

M. Martins<sup>1\*</sup>, A. Cruz<sup>2</sup>, A. Gomes<sup>1</sup>, D. Roye<sup>3</sup> P. Dinis<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Letras da Universidade do Porto, (Centro de Geografia e Ordenamento do Território – CEGOT), Via Panorâmica, s/n 4150-564 Porto, Portugal.

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima Universidade de Coimbra – Polo II, 3030-790 Coimbra, Portugal.

<sup>3</sup> Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Departamento de Geografia, Via Panorâmica, s/n 4150-564 Porto, Portugal; Universidade de Santiago de Compostela, Departamento de Geografía, Praza da Universidade, nº 1, 15782 Santiago de Compostela, Espanha.

<sup>4</sup> Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra (Centro de Ciências do Mar e do Ambiente – MARE), Rua Sílvio Lima Universidade de Coimbra – Polo II, 3030-790 Coimbra, Portugal.

\* marciam\_castro@hotmail.com

**Palavras-chave:** Inundações urbanas; ordenamento do território; ERA5; Lubango; Angola

**Key-words:** Urban floods; spatial planning; ERA5; Lubango; Angola

#### **INTRODUÇÃO**

A cidade do Lubango, localizada no Planalto da Huíla, desenvolve-se num território com relevo suavemente aplanado onde correm e convergem várias linhas de água. A cidade foi palco de um processo de expansão urbana intenso que ocorreu, particularmente, durante o período da guerra civil angolana (1975-2002) e no pós-guerra, realizando-se de forma desordenada e ocupando áreas envolventes dos espaços já edificados. Esta expansão não se fez de forma planeada, sendo a maioria dos edifícios construídos de forma clandestina e em condições precárias de habitabilidade (Tyilianga, 2017). Além disso, a proliferação não controlada das áreas urbanas implicou uma ocupação desregrada dos leitos de inundações e estrangulamentos severos à livre circulação da água nos canais fluviais. Estas intervenções antrópicas aliadas à ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos, pode originar inundações urbanas com efeitos nefastos na cidade e na população.

Neste sentido, a análise das características físicas das bacias de drenagem que suportam a antevisão do seu comportamento hidrológico e hidráulico, ajudam a determinar a propensão à ocorrência de inundações. A precipitação é também fundamental neste tipo de abordagens, pois é a variável meteorológica que mais diretamente contribui para a ocorrência de cheias (Velhas, 1991).

O presente trabalho tem como principal objetivo contribuir para a compreensão dos fatores que potenciam as inundações urbanas na cidade do Lubango (Angola), através do estudo das características morfométricas das bacias hidrográficas e análise dos quantitativos de precipitação, numa região onde se verifica um alastramento das áreas urbanas não planeadas.

## ÁREA DE ESTUDO

O município do Lubango está entre os mais povoados de Angola, apontando as projeções do INE (2018) para uma população estimada em 929.525 habitantes, com uma densidade populacional de 82 hab/ha e uma mancha urbana que cobre *ca.* 11301,28 hectares (Atlas da Urbanização de Angola<sup>1</sup>). A cidade do Lubango é atravessada por um conjunto de rios, entre os quais podemos destacar o rio Caculuar (afluente da margem direita do rio Cunene), cuja bacia hidrográfica se situa no Sudoeste de Angola (Figura 1A), abrangendo uma área de  $\approx 25184,84 \text{ km}^2$ . Este rio nasce na Serra da Chela, a 18km do Lubango (Figura 1B), e caracteriza-se por um regime torrencial que origina caudais elevados na época das chuvas (Lopes *et al.*, 2012).

O clima de Angola apresenta uma forte variação sazonal, com uma estação húmida (outubro a maio), na qual ocorrem chuvas fortes e temperaturas elevadas, e uma estação seca com temperatura mais baixas (junho a setembro) (Huntley, 2019). A estas latitudes, destaca-se a influência que alguns processos como o *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) e a *Angola Low* (AL) desempenham na variabilidade pluviométrica. Na escala interanual, a ENSO é a principal responsável pelas variações da precipitação no Sul de África (Dieppois *et al.*, 2015), originando precipitações sazonais abaixo do normal (Crétat *et al.*, 2019). Em contrapartida, a AL é um sistema de baixa pressão que ocorre de outubro a março (Crétat *et al.*, 2019), que favorece os períodos húmidos, trazendo as chuvas de verão (Cook *et al.*, 2004).

A área de estudo abrange uma sub-bacia hidrográfica do rio Caculuar, que atravessa o Lubango, a qual designamos como “sub-bacia do Lubango”, que possui uma área de  $\approx 219,77 \text{ km}^2$ . A cidade localiza-se num fundo de bacia com relevo suavemente ondulado, estando todo o setor ocidental delimitado por um planalto (Planalto da Humpata) cuja altitude máxima ronda os 2321m (Figura 1C). O desnível médio entre o planalto e a cidade do Lubango ronda os 563 m. A delimitação desta sub-bacia baseou-se na incidência espacial das notícias relacionadas com eventos de hidrometeorológicos gravosos que originaram inundações nesta região. Pelas notícias, salientamos os eventos mais recentes que ocorreram em 2016, no rio Capitão (bairro do Tchico) e, em 2010, no rio Mucufi que atravessa o centro da cidade do Lubango.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizamos o modelo digital de superfície global ALOS (Advanced Land Observation Satellite)<sup>2</sup>, com 30 metros de pixel, para a delimitação das unidades hidrográficas e extração da rede de drenagem e para a determinação dos parâmetros morfométricos. As propriedades das bacias hidrográficas e respectivos cursos de água, influenciam a velocidade de escoamento e, portanto, o tempo de concentração ( $T_c$ ) que é essencial para a análise das inundações, pois dele depende a sua magnitude e frequência. Existem várias fórmulas empíricas para a determinação do tempo de concentração, no entanto, nem todas se adequam às características de determinadas bacias hidrográficas. Assim, optou-se pela utilização da fórmula de David (David, 1976) indicada para bacias hidrográficas com áreas até

<sup>1</sup> <http://onuangola.org/agencias/unhabitat/atlas/>

<sup>2</sup> <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>

25 km<sup>2</sup>, dado que o foco deste estudo consiste na análise do comportamento de pequenas sub-bacias.

Relativamente aos dados meteorológicos, nestes países em desenvolvimento, deparamo-nos com a limitação na disponibilidade de registos. Todavia, atualmente, dispõe-se de uma quantidade significativa de dados fiáveis para todo o mundo, como é o caso dos dados de reanálise. Para obtenção dos registos de precipitação recorreremos aos dados ERA5<sup>3</sup> que fazem parte da 5ª geração da reanálise atmosférica do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF), consistindo numa assimilação de dados através de modelos numéricos, que combinam previsões anteriores com novas observações para uma estimativa melhorada e atualizada (Figura 1D; 1E).

## RESULTADOS

Observando os resultados (Figura 1C) podemos destacar a forma irregular das sub-bacias hidrográficas sendo, no entanto, evidente através da análise do índice de circularidade (valor máximo 1, *i.e.*, bacia circular), que algumas sub-bacias possuem formas tendencialmente mais circulares, tais como, a do rio Mucufi (0,52) e a do rio Capitão (0,65) (Tabela 1). Este parâmetro é importante pois quanto mais circular a bacia, maior é a probabilidade de chuvas fortes concentrarem rapidamente o fluxo, influenciando a rapidez com que o escoamento dos tributários atinge o canal principal (RAMOS, 2009).

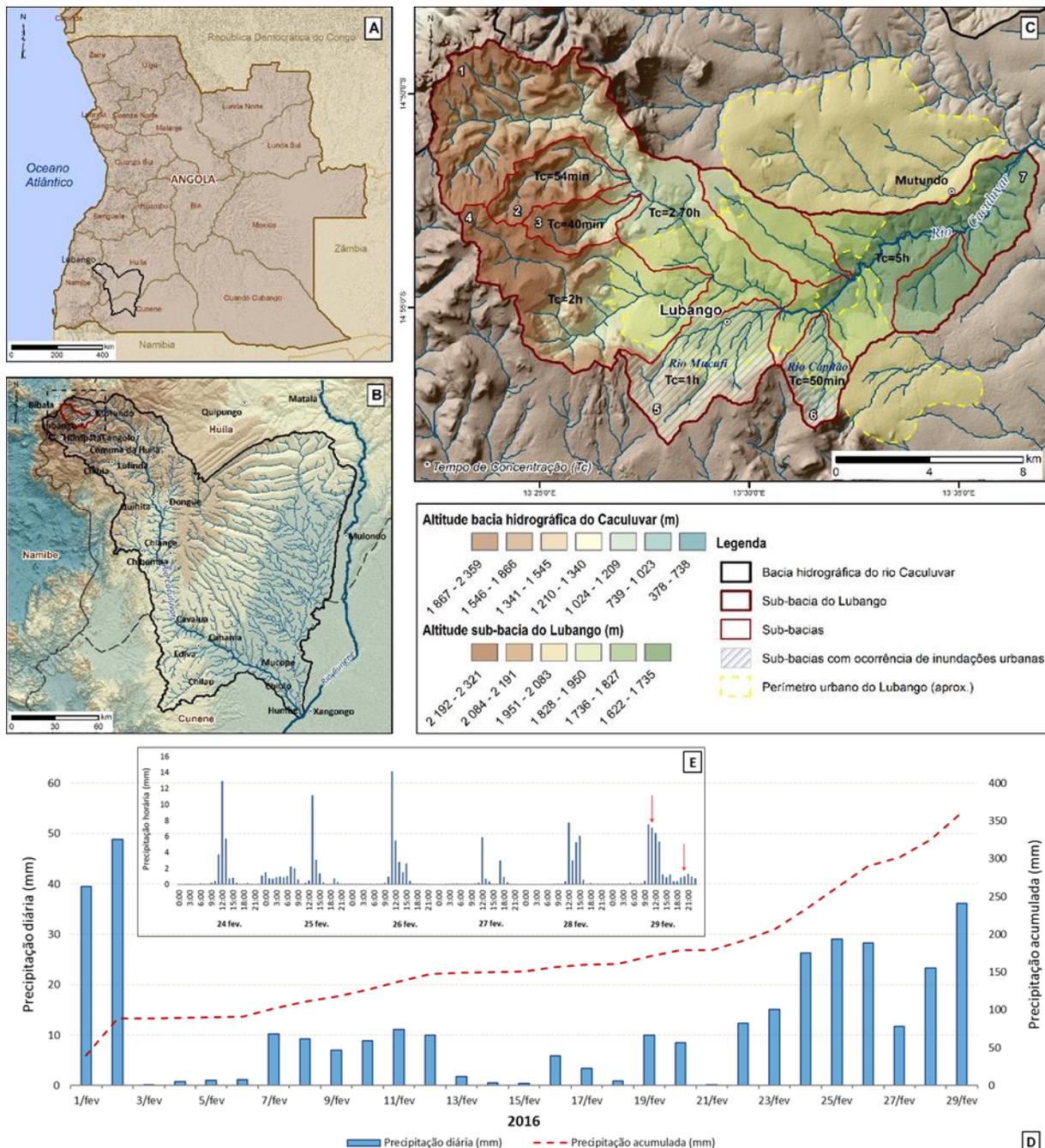
Outro aspeto a considerar é o declive dos cursos de água, visto que controla a velocidade do escoamento, apresentando-se particularmente elevado no Rio Capitão, 89,98m/km (Tabela 1). Na figura 1C, representam-se os resultados do cálculo do tempo de concentração, onde verificamos que as sub-bacias com registos de inundações apresentam tempos de concentração curtos de 1 hora (rio Mucufi) e de 50 minutos (rio Capitão).

Assim, importa salientar os efeitos da antropização no ciclo hidrológico que se traduzem na redução da infiltração da água no solo, que provoca um aumento do escoamento superficial e diminuição do tempo de concentração incitado pela maior velocidade do escoamento. Além disso, a proliferação das áreas impermeáveis nestas sub-bacias urbanas, origina ainda uma redução do escoamento subterrâneo e a diminuição da evapotranspiração. A conjugação destes fatores provoca um incremento nos caudais máximos que antecipam os picos de cheia (Tucci, 2005).

**Tabela 1.** Características das sub-bacias hidrográficas que potenciam a ocorrência de cheias.

Sub-bacias	Área (km <sup>2</sup> )	Índice de circularidade (Miller)	Altitude máxima (m)	Altitude mínima (m)	Declive do curso de água principal (m/km)
1	125,57	0,49	2321	1707	33,66
2	11,69	0,53	2314	1853	66,02
3	7,80	0,51	2290	1844	82,99
4	40,44	0,42	2321	1738	37,23
5	22,62	0,52	2139	1707	59,79
6	8,67	0,65	2117	1685	89,98
7	219,77	0,35	2321	1622	20,73

<sup>3</sup> <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview>



**Figura 1.** A) Enquadramento geográfico da área de estudo; B) Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Caculuar; C) Hipsometria da sub-bacia do Lubango e outras pequenas sub-bacias hidrográficas. (Fontes: *ALOS Global Digital Surface Model, DIVA-GIS*) D) Precipitação diária e precipitação acumulada (mm) nos dias que antecederam a cheia do rio Capitão, a 29 de fevereiro de 2016; E) Precipitação horária (mm) entre o dia 21 e 29 de fevereiro de 2016. (Fonte: *ERA5, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*).

A partir dos dados da precipitação associados a um evento hidrometeorológico gravoso, que originou a ruptura de uma represa e, conseqüente inundação no rio Capitão (Figura 1D), é possível verificar que ocorreram chuvas durante todos os dias do mês, sendo que o pico máximo foi alcançado no dia 2, com *ca.* de 48,9mm. No entanto, a inundação deu-se apenas no dia 29, entre as 11:00h e as 20:00h (Figura 1E), evidenciando a importância da precipitação acumulada para explicação deste evento, visto que no final do mês se atingiu aproximadamente 362mm, numa altura em que os solos já se encontravam saturados. Como referido anteriormente, este evento foi agravado pela rutura de um dique, afigurando

elevados impactos sociais relacionados com os prejuízos materiais, desalojamentos e perda de vidas.

## CONCLUSÕES

As inundações na cidade do Lubango são motivadas por eventos hidrometeorológicos gravosos, que originam perdas e prejuízos, em áreas muito expostas ao risco devido à construção de habitações não planeadas e à margem das regras urbanísticas. Com este estudo, percebe-se que a análise da morfometria pode ajudar a antever determinados comportamentos das bacias hidrográficas, constituindo elementos que devem ser considerados no processo de gestão urbana. Além disso, a expansão urbana desregrada junto dos leitos de inundação, provoca um incremento da vulnerabilidade dos territórios face a estes fenómenos. Neste sentido, torna-se necessário desenvolver instrumentos de ordenamento do território eficazes para manter os leitos de inundação desocupados, evitando estrangulamentos na rede de drenagem, de forma a aumentar a resiliência das populações. Seria igualmente importante implementar sistemas de alerta para eventos meteorológicos extremos, dada a instabilidade meteorológica em algumas épocas do ano.

## REFERÊNCIAS

- Cook, C., Chris, Reason, J. C., Hewitson, B. C. (2004). Wet and dry spells within particularly wet and dry summers in the South African summer rainfall region. *Climate Research*, 26(1), 17-31.
- Crétat, J., Pohl, B., Dieppois, B., Berthou, S., Pergaud, J. (2019). The Angola Low: relationship with southern African rainfall and ENSO. *Climate Dynamics*, 52(3), 1783-1803.
- David, J. (1976). Determinação de Caudais de Ponta de Cheia em Pequenas Bacias Hidrográficas. *Drenagem de estradas, Caminhos de Ferro e Aeródromos*. Lisboa, LNEC.
- Dieppois, B., Rouault, M., New, M. (2015). The impact of ENSO on Southern African rainfall in CMIP5 ocean atmosphere coupled climate models. *Climate Dynamics*, 45(9), 2425-2442.
- Huntley B.J. (2019) Angola in Outline: Physiography, Climate and Patterns of Biodiversity. In: Huntley B., Russo V., Lages F., Ferrand N. (eds) *Biodiversity of Angola*. Springer, Cham.
- Lopes, F. C., et al. 2012. Para conhecer a Terra: memórias e notícias de Geociências no espaço lusófono. Coimbra: Imprensa da Universidade.
- Ramos, C. (2009) *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de unidade curricular do 2º ciclo)*. SLIF-6. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 94 pp.
- Tucci, C. (2005). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas*. Ministério das Cidades, Global Water Partnership, World Bank, Unesco.
- Tyilianga, J. (2017). *Problemática do abastecimento de água e saneamento de águas residuais no município do Lubango/Angola*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, 127 pp.
- Velhas, E. (1991). A Bacia Hidrográfica do Rio Leça - Estudo Hidroclimatológico. *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*, Vol. VH, p.159 - 251.