

## **RISCOS DE CHEIAS E INUNDAÇÕES: CASO DE ESTUDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MONDEGO, COIMBRA, PORTUGAL**

**GUSTAVO WILLY NAGEL<sup>1</sup>; MARCELLE MARTINS VARGAS<sup>2</sup>; CONSTANÇA  
RIGUEIRO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Discente UFPel/Universidade de Coimbra – [gustavoonagel@gmail.com](mailto:gustavoonagel@gmail.com)

<sup>2</sup>Discente UFPel/Universidade de Coimbra – [marcellevar@gmail.com](mailto:marcellevar@gmail.com)

<sup>3</sup>ISISE, Universidade de Coimbra – [mcsr@dec.uc.pt](mailto:mcsr@dec.uc.pt)

### **1. INTRODUÇÃO**

Avaliar e quantificar os fenômenos inerentes aos riscos de cheias e inundações se torna muito importante para compreender os processos e variáveis envolvidas, a fim de aplicar as melhores práticas para a mitigação das consequências e atenuar as causas. Deste modo, estudos periódicos e históricos de cheias constituem a base do estudo e contribuem para o entendimento de todo o processo.

CUNHA; PINTO (2011) destacam que a ocorrência de uma cheia origina sempre uma inundação, deste modo é possível diferenciar cheias de inundações. RAMOS (2013) explica que as cheias são fenômenos hidrológicos temporários, enquanto inundações podem ser definitivas (à escala da vida humana), como é o caso, por exemplo, da subida do nível médio das águas do mar, devido ao aquecimento global. A importância de recorrer a cálculos envolvendo diferentes distribuições de probabilidade está diretamente relacionada com a variável de interesse, a qual, neste caso, é caracterizada como um fenômeno hidrológico extremo. Logo, enquadrá-la dentro do tempo de recorrência se torna indispensável para qualificar processos futuros de mitigação. COELHO (2015) define que cheia ou inundação, no contexto urbano, ocorre quando as águas da chuva, do mar, linhas de água ou de sistemas de drenagem pluviais inundam áreas urbanas (e.g. arruamentos, passeios, zonas comerciais).

Em janeiro de 2001, na cidade de Coimbra, em Portugal, ocorreram níveis excepcionais de precipitação na região, as quais originaram um elevado caudal no rio Mondego com precipitação mensal de 667 mm. Assim como consequências e prejuízos (e.g. rotura dos diques do leito central do rio em 13 pontos distintos, por erosão dos taludes; alagamento na zona a jusante de Coimbra).

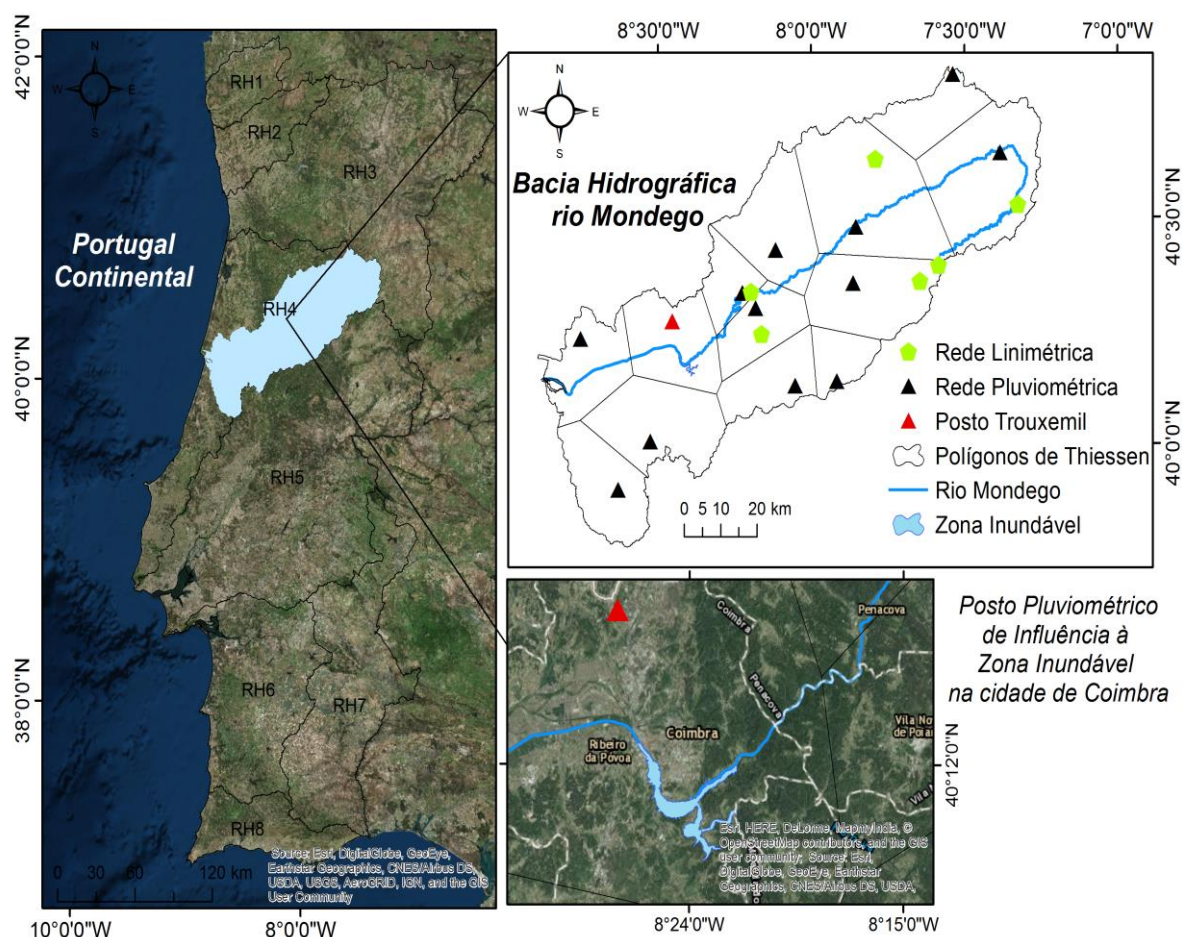
O presente trabalho enquadra-se na Mobilidade Acadêmica Internacional realizada no ano letivo 2016/2017 na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal. Sendo desenvolvido no âmbito da disciplina de Análise de Riscos, do curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. O Objetivo deste estudo foi utilizar, através de dois casos, a metodologia de probabilidade conjunta para a definição da probabilidade de ocorrência de uma inundação igual ou maior que a ocorrida em janeiro de 2001, recorrendo às variáveis: precipitação máxima mensal e níveis de reservatório do ano de 2001, para a bacia hidrográfica do rio Mondego, Coimbra, Portugal.

### **2. METODOLOGIA**

#### **Estudo de Caso I**

A localização e os postos pluviométricos na bacia do rio Mondego, Portugal estão dispostos na Figura 1. Utilizou-se os dados derivados do monitoramento do

posto pluviométrico de influência do local (Trouxemil), dada pela aplicação dos Polígonos de Thiessen, à região de maior índice de inundação, segundo o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), plataforma que permitiu a obtenção dos dados de monitoramento dos postos. Determinou-se o tempo de retorno para o evento extremo ocorrido em janeiro de 2001 de 667 mm de magnitude mensal, utilizando as distribuições de probabilidade empírica de Weibull, teóricas Normal, Log-Normal e Gumbel para Máximos; e os testes de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) e Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ao nível de 5% de significância, para averiguar qual destas leis se adequava melhor à série de máximos mensais para o posto influente. Para a aplicação das distribuições de probabilidade nas séries de valores máximos mensais no posto pluviométrico Trouxemil, considerou-se apenas anos sem presença de falhas; deste modo foram utilizados 24 anos de monitoramento. A localização da bacia do rio Mondego, assim como os postos linimétricos, pluviométricos, polígonos de Thiessen e as zonas inundáveis podem ser visualizados na Figura 1.



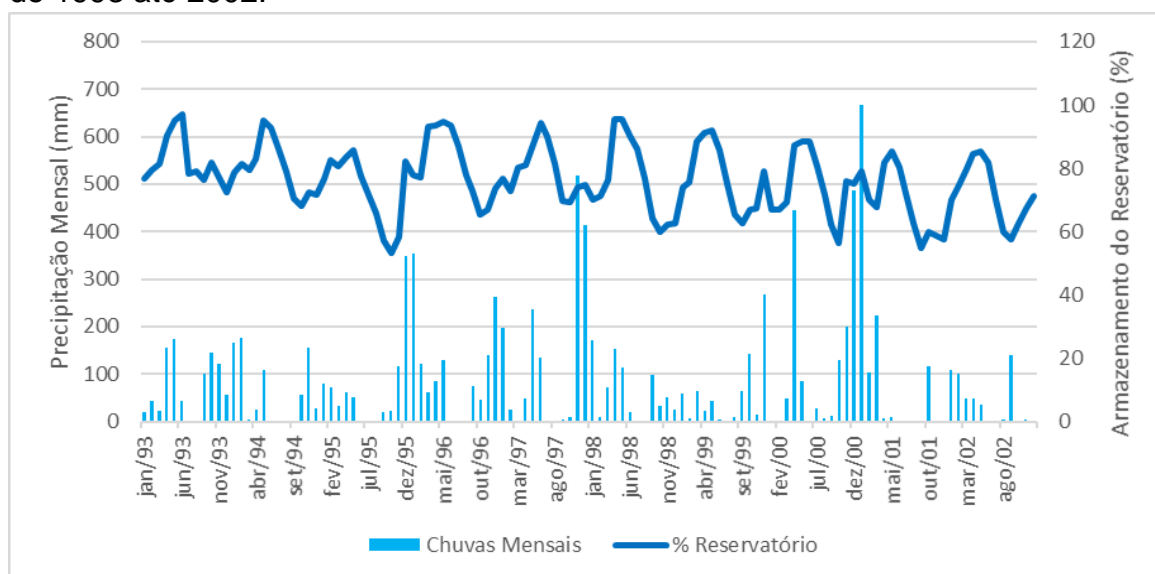
**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego em Portugal, juntamente com os limites das regiões hidrográficas do país definido pelo SNIRH; influência dos postos pluviométricos e zona de maior índice de inundação.

## Estudo de Caso II

Com o intuito de prosseguir com as análises, definiu-se o tempo de recorrência da capacidade média dos reservatórios da bacia do rio Mondego na data em que ocorreu a inundação. A bacia do rio Mondego possui 6 barragens, sendo elas: Aguieira (capacidade total de armazenamento de 423.030.000 m<sup>3</sup>), Caldeirão (5.520.000 m<sup>3</sup>), Fagilde (2.800.000 m<sup>3</sup>), Fronhas (62.100.000 m<sup>3</sup>),

Lagoa Comprida (14.000.000 m<sup>3</sup>) e Vale do Rossim (3.500.000 m<sup>3</sup>). Utilizou-se dados mensais, de 1993 até 2016, relativos ao nível médio dos reservatórios adquiridos no SNIRH. Com a utilização de distribuições teóricas Normal, Log-Normal e Gama, determinou-se o tempo de recorrência da capacidade média que se encontrava os reservatórios em janeiro de 2001, cerca de 78,9%. O teste Qui-Quadrado, ao nível de 5% de significância, foi utilizado para a determinação da distribuição de melhor ajuste.

Considerando que tanto a precipitação quanto o nível dos reservatórios exercem influência direta na recorrência e intensidade de inundações, efetuou-se a multiplicação dos resultados das duas variáveis para se obter um novo tempo de recorrência que se aproxime mais da realidade. A Figura 2 expressa a relação entre a precipitação e a percentagem de armazenamento médio dos reservatórios de 1993 até 2002.



**Figura 2:** Relação entre a precipitação e a percentagem de armazenamento médio dos reservatórios, de 1993 até 2002.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Estudo de Caso I

Com base na metodologia aplicada, todas as distribuições de probabilidades teóricas se ajustaram à série de valores máximos mensais, de acordo com o teste de KS. De modo a avaliar quantitativamente qual a melhor distribuição teórica que se ajustava aos dados utilizados, o teste de Qui-Quadrado ( $\lambda^2$ ) foi aplicado. Logo, a distribuição de Gumbel para Máximos foi a que melhor se ajustou à série de dados, de acordo com o teste de  $\lambda^2$ . A partir da modelagem probabilística de Gumbel aplicada para os Máximos, o evento extremo ocorrido em janeiro de 2001 de 667 mm possui um tempo de recorrência de 100 anos.

Sabendo este resultado e da susceptibilidade de ocorrência de cheias no local de estudo, possui-se uma importante ferramenta para futuros projetos de construção (e.g. obras hidráulicas); nomeadamente como base para estudos acerca de medidas de mitigação no local e ainda, um módulo para aplicação de probabilidade conjunta ao Estudo de Caso II.





## Estudo de Caso II

A distribuição teórica que melhor se ajustou, segundo o teste do  $\lambda^2$  (5% de significância), para a percentagem do nível de armazenamento dos reservatórios foi a Log-Normal. Segundo esta distribuição, o tempo de recorrência aplicado para o evento de janeiro de 2001, período que os reservatórios estavam com 78,9% da capacidade de armazenamento médio, é de 3 anos.

Associando o tempo de retorno da precipitação total ocorrida no mês do evento, de 100 anos de período de recorrência com a do nível dos reservatórios, 3 anos, resulta-se, através da multiplicação das probabilidades, que o tempo de recorrência de uma inundação igual ou pior da ocorrida em janeiro de 2001 é de 300 anos.

## 4. CONCLUSÕES

Do trabalho desenvolvido e das análises realizadas, pode-se pressupor:

- i. A importância de se aplicar diferentes distribuições de probabilidade, dado que para o Estudo de Caso I, a distribuição que melhor se ajustou à variável de precipitação máxima mensal foi a distribuição teórica de Gumbel para Máximos. Para o Estudo de Caso II, a que melhor se adequou à variável de nível de armazenamento foi a distribuição teórica Log-Normal,
- ii. O uso de testes de aderência mais robustos, como o teste do  $\lambda^2$ ;
- iii. A utilização da metodologia de probabilidade conjunta mostrou-se adequada à junção dos dois estudos de caso;
- iv. Relevância de estudos como este para o conhecimento dos tempos de recorrência através de monitoramento, utilizando postos pluviométricos e linimétricos em conjunto, constitui uma ferramenta de aplicação sem precedentes no ramo da hidrologia probabilística.
- v. Da interação entre Universidades no âmbito da Mobilidade Acadêmica, valorizando o conhecimento à escala internacional e de interesse dos discentes e docentes envolvidos em quali e quantificar um estudo nos ramos da hidrologia, estatística e análise de riscos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coelho, P., Servidões administrativas sobre parcelas privadas de leitos e margens de águas públicas como instrumento de mitigação de cheias urbanas. E-Pública: **Revista Eletrônica do Direito Público**, p. 141-169, 2015.

Cunha, S., Pinto, F.T. Aplicação de uma metodologia de análise de risco de inundações à zona ribeirinha do Peso da Régua. **6º JORNADAS DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE**. Universidade do Porto, 2011.

Ramos, C., **Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações**. Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade d