

## Unidade curricular Estatística Espacial


Raquel Menezes da Mota Leite

Universidade do Minho

Setembro de 2023



### Motivação para o Estudo de Estatística Espacial

- **Modelos espaciais** medem a relação entre observações obtidas em diversos locais
- Noção intuitiva da existência de uma correlação entre dados situados na proximidade espacial, que tipicamente diminui com o aumento da distância
-  O conhecimento destas relações é particularmente relevante por permitir **estimar valores para as localizações onde não foram efectuadas medições**

### Porquê Estatística Espacial?

- Área de especialização: mestrado, doutoramento e investigação
- Relevância e impacto na formação científica e profissional
  - ▶ **Estudo de fenómenos cuja a análise integra a localização geográfica**
  - ▶ Fácil obtenção de **dados espaciais** (via satélite, receptores GPS, etc)
  - ▶ Exemplos:
    - ★ **epidemiologia** - mapeamento de doenças
    - ★ **demografia** - Sistema de Informação Geográfica (SIG)
    - ★ **geologia** - prospeção de matérias-primas minerais
    - ★ **climatologia** - interpolação espacial para dados climáticos
    - ★ **ambiente** - mapas de risco de poluentes atmosféricos
    - ★ **ecologia** - estimacão da abundância de espécies

### Motivação (cont.)

A **aprendizagem** dos princípios fundamentais da estatística espacial:

- compreende ferramentas para
  - ▶ modelação
  - ▶ simulação
  - ▶ desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão
- cada vez mais indispensável na formação científica quantitativa na área da estatística e matemática
  - ▶ competências analíticas
  - ▶ técnicas de modelação matemática
  - ▶ e extração do conhecimento

## Enquadramento na oferta UM

- Antigo **ME**:
  - ▶ *Modelação Estatística Espaço-Temporal* (optativa, 5 ECTS)
- Novo **ME-CD**
  - ▶ *Métodos de Previsão e Séries Temporais* (obrigatória, 5 ECTS)
  - ▶ *Estatística Espacial* (optativa, 5 ECTS, 2º ou 3º semestre)
- Nova UC<sup>1</sup> permite abordar
  - ▶ **modelos referentes a pontos** - **Geoestatística** (5 sessões)
  - ▶ **modelos referentes a áreas**, úteis por ex. em Epidemiologia (2/3 sessões)
  - ▶ **modelos hierárquicos com efeitos-mistos** (3/2 sessões)

<sup>1</sup>Assume-se um total de 13 sessões, sendo 1 para introdução da UC e 2 para avaliação.

## Pré-requisitos

- Parte-se do princípio que o estudante já adquiriu conceitos em
  - ▶ probabilidades
  - ▶ inferência estatística
  - ▶ regressão linear
- Adicionalmente, serão úteis conceitos relacionados com
  - ▶ análise multivariada
  - ▶ modelos lineares generalizados
  - ▶ análise de séries temporais

## Resultados de Aprendizagem

- Identificar contexto de aplicação de processos estocásticos espaciais
- Interpretar a análise exploratória de dados espaciais, permitindo identificar modelos adequados
- Compreender conceitos fundamentais da modelação da dependência espacial
- Determinar como decorre a estimação e predição pela construção de mapas
- Interpretar os resultados do *software* de estatística espacial
- Saber sintetizar os resultados de uma análise espacial

## Programa detalhado e Bibliografia

### 1. Introdução (à análise de dados espaciais) - uma sessão

#### 1.1 Objetivos da análise de dados espaciais

#### 1.2 Geoestatística, modelos referentes a áreas e processos pontuais

#### 1.3 Análise exploratória, visualização e estimação não-paramétrica de processos pontuais

### Bibliografia recomendada:

- Capítulo 1 de "Carvalho M.L., Natário I. (2008). **Análise de Dados Espaciais**. Sociedade Portuguesa de Estatística. ISBN: 978-972-8890-18-6"
- Capítulo 3 de "Bivand Roger S., Pebesma Edzer J., Gómez-Rubio V. (2013). **Applied Spatial Data Analysis with R**. 2nd Edition. UseR! Series Springer"

## Programa detalhado e Bibliografia

### 2. Geoestatística (introdução) - uma sessão

- 2.1 Tipos de estacionariedade
- 2.2 Isotropia e anisotropia
- 2.3 Propriedades do variograma e covariograma

#### Bibliografia recomendada:

- Secções 2.1.1 - 2.1.5 de *Carvalho and Natário (2008)*
- Secções 3.1 - 3.5 e 3.7 de "Diggle P., Ribeiro P. (2007). **Model-based Geostatistics**. Springer Series in Statistics, Springer Verlag, New York"
- Capítulo 5 de "Sherman M. (2011). **Spatial Statistics and Spatio-Temporal Data: Covariance Functions and Directional Properties**. Wiley Series in Probability and Statistics"

9 / 15

## Programa detalhado e Bibliografia

### 2. Geoestatística (cont.) - duas sessões

- 2.4 Estimação da tendência espacial
- 2.5 Estimação do variograma empírico e teórico
- 2.6 Introdução à interpolação espacial

#### Bibliografia recomendada:

- Secções 2.1.6, 2.2 e 2.3 de *Carvalho and Natário (2008)*
- Secções 5.1 - 5.4 e 2.6 de *Diggle and Ribeiro (2007)*
- Secções 3.1 - 3.3, 3.5 e 2.1 de *Sherman (2011)*

10 / 15

## Programa detalhado e Bibliografia

### 2. Geoestatística (cont.) - duas sessões

- 2.6 Kriging ordinário, universal e com tendência externa
- 2.7 Diagnóstico do modelo, validação-cruzada

#### Bibliografia recomendada:

- Secção 2.4 de *Carvalho and Natário (2008)*
- Capítulo 2 de *Sherman (2011)*
- Secções 8.5 e 8.6 de *Bivand et al. (2013)*

11 / 15

## Programa detalhado e Bibliografia

### 3. Modelos referentes a área (introdução) - uma sessão

- 3.1 Algumas definições: polígonos, centróides, matriz de vizinhanças/pesos
- 3.2 Testes de associação espacial: estatísticas  $I$  de Moran e  $c$  de Geary
- 3.3 O mapa coropleto

#### Bibliografia recomendada:

- Secções 3.1 e 3.2 de *Carvalho and Natário (2008)*
- Capítulo 9 de *Bivand et al. (2013)*

12 / 15

## Programa detalhado e Bibliografia

### 3. Modelos referentes a área (cont.) - duas sessões

- 3.3 O alisamento espacial
- 3.4 Campos aleatórios de Markov
- 3.5 Modelos auto-regressivos condicionais, CAR
- 3.6 Modelos auto-regressivos simultâneos, SAR
- 3.7 Comparação dos modelos CAR e SAR

#### Bibliografia recomendada:

- Secções 3.3, 3.4, 3.5.1–3.5.4 de *Carvalho and Natário (2008)*
- Secções 10.1 e 10.2 de *Bivand et al. (2013)*

13 / 15

## Programa detalhado e Bibliografia

### 4. Tópicos adicionais sobre modelação - duas sessões

- 4.1 Modelos hierárquicos considerando campo Gaussiano latente
- 4.2 Modelos lineares generalizados com efeitos-mistos, GLMM
- 4.3 Modelos aditivos generalizados com efeitos-mistos, GAMM

#### Bibliografia recomendada:

- Capítulo 4 de *Diggle and Ribeiro (2007)*
- Secções 10.3 e 10.5.1 de *Bivand et al. (2013)*
- Secções 3.4, 3.5 e 4.5 de "Wikle C.K., Zammit-Mangion A., Cressie N. (2019). **Spatial-Temporal Statistics with R**. Chapman & Hall"

14 / 15

## Metodologia de Ensino-Aprendizagem

- **Componente de exposição pelo docente**
  - ▶ apresentação de conceitos com exemplificação detalhada de casos
  - ▶ suporte ao ensino: acetatos, fichas de trabalho e "quadro branco"
- **Componente de trabalho individual ou em grupo**
  - ▶ resolução de exercícios teóricos e computacionais usando o R
  - ▶ projeto de análise e modelação de dados
- **Avaliação**
  - ▶ **Teste, 55%** – 16 de novembro (nota mínima de 8 valores)
  - ▶ **Projeto com relatório e apresentação oral, 35%** – 11 de janeiro
  - ▶ Quizzes, 10% – sem data

15 / 15