

# CARACTERIZAÇÃO E RISCO DE SECAS

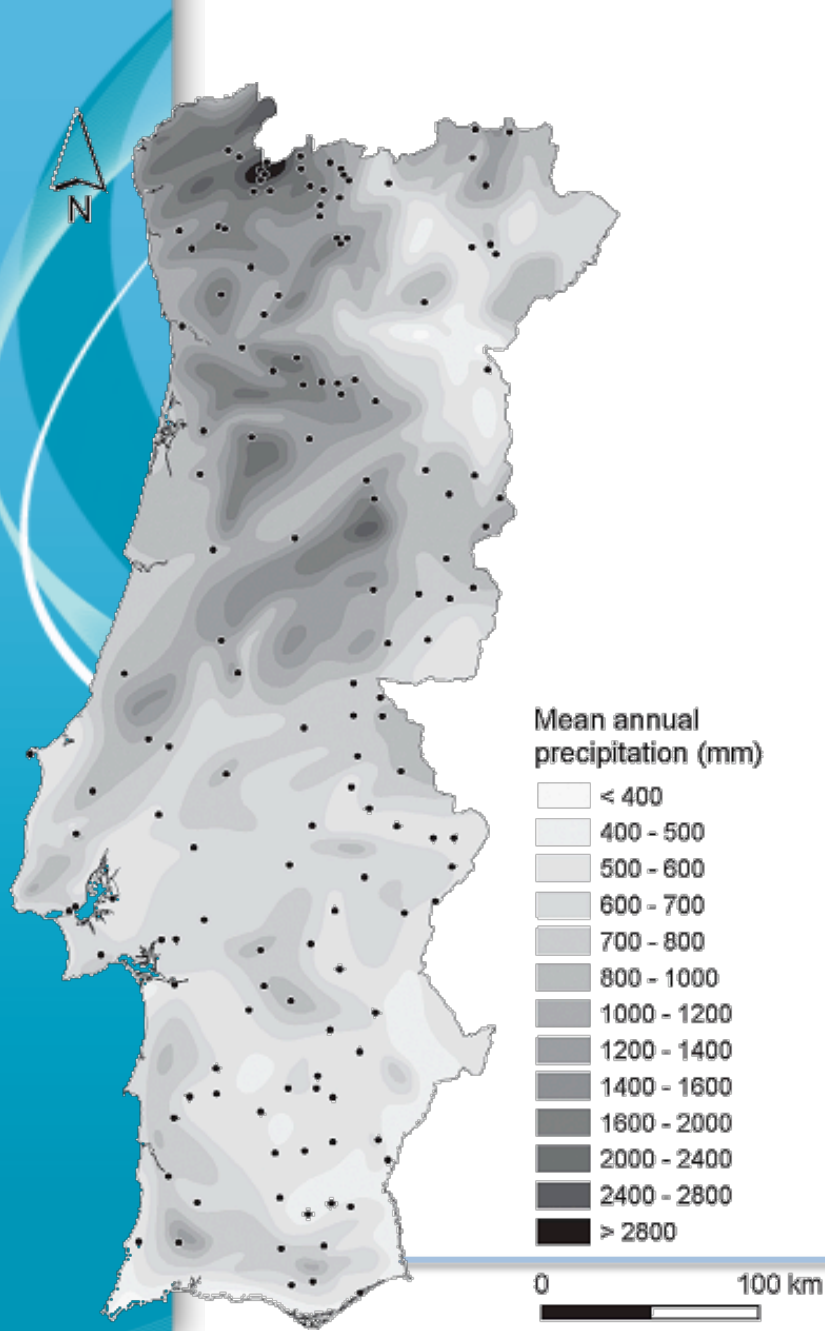
**João Filipe Santos**

(Coordenador de Curso de Eng. Civil, ESTIG, IPBeja)

# 1. Introdução

- ✓ **A Seca** é um dos fenómenos naturais **mais complexos e menos conhecidos, que afecta mais pessoas** do que qualquer outro. No Sul da Europa é um fenómeno frequente dada a respectiva **variabilidade climática natural** da região o que causa importantes danos na **economia, no ambiente e na sociedade**.
- ✓ Contudo, até recentemente, poucas tentativas têm sido feitas de forma a **caracterizar totalmente** o fenómeno avaliar o respectivo **risco** a até de testar a sua **potencial previsibilidade** para Portugal.

# 1. Introdução. Área em estudo e dados



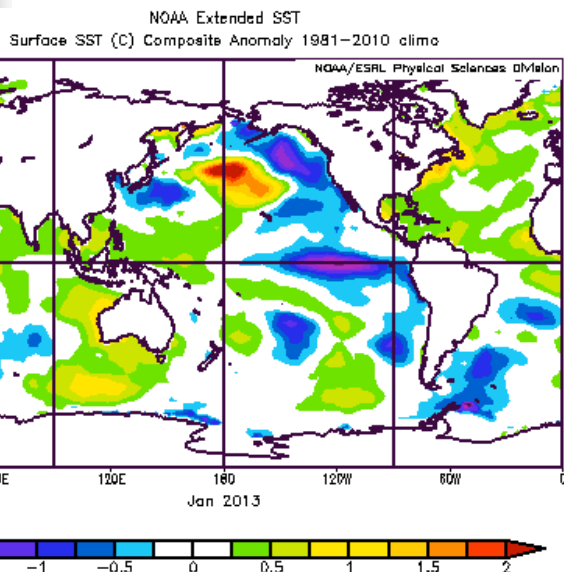
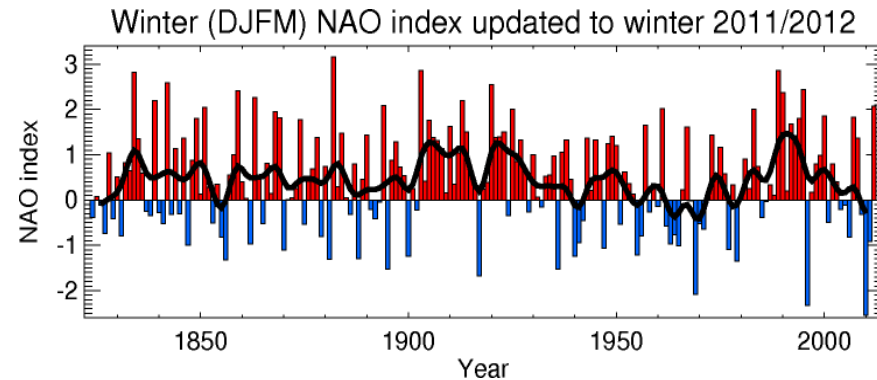
- ✓ **94-anos** (de Outubro de 1910 a Setembro de 2004) de registos de precipitação mensal em 144 postos udométricos uniformemente distribuídos pelo país.
- ✓ **As amostras de precipitação mensal com algumas falhas** foram preenchidas por aplicação de regressão linear... técnica comun de reconstrução de séries temporais hidrológicas.

(precipitação média anual... mais de 2800 mm, na região Noroeste, para menos de 400 mm, na região Sul, seguindo um complexo padrão espacial, em estreita ligação com o declive).

# 1. Introdução. Área em estudo e dados

✓ Dados externos... Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e Temperaturas da Superfície do Mar (SST) foram considerados, uma vez que está provado que os mesmos afectam o clima na Europa.

✓ Índice NAO... diferença de pressões normalizadas ao nível do mar sobre Gibraltar e o Sudoeste da Islândia (<http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/nao.dat>)



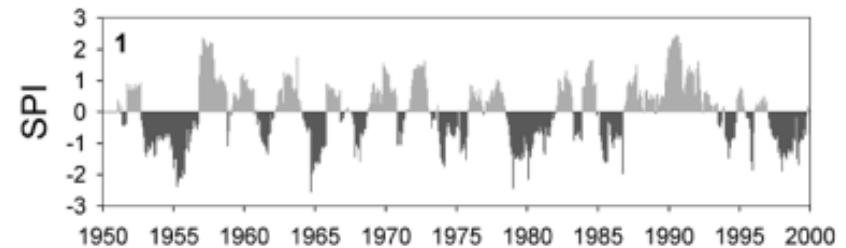
✓ SST... NCDC Extended Reconstructed SST v3b dataset. Três campos de SST's: Oceano Mediterrâneo – SST1 (37°E-7°W; 31°N-47°N); Brasil na parte Sudoeste do Oceano Atlântico – SST2 (35°W-25°W; 15°S-10°S); e o Atlântico Norte – SST3 (45°W-25°W; 38°N-42°N).

# 1. Introdução. Índice de Seca

✓ ... **indicador** para analisar a seca:

**Índice de Precipitação Padronizado (SPI)** apropriado para quantificar o **défice** de precipitação em **múltiplas escalas temporais**

de acordo com o **impacto das secas** nos diferentes componentes do ciclo hidrológico.



## Classificação de Seca

Probabilidade de não excedência	SPI	Categoria de Seca
0.05	>1.65	Extremely wet
0.10	>1.28	Severely wet
0.20	>0.84	Moderately wet
0.60	>-0.84 and <0.84	Normal
0.20	<-0.84	Moderate Drought
0.10	<-1.28	Severe Drought
0.05	<-1.65	Extreme Drought

✓ **Três modificações** no cálculo do **SPI** : (i) a utilização da **Distribuição de Pearson III** (em vez da **Gamma**); (ii) a consideração do **método dos momentos-L** para cálculo dos parâmetros da distribuição;

(iii) **classificação** diferente para **intensidade de seca**.

# 1. Introdução. Índice de Seca

- ✓ **SPI, vantagens...** (a) **maior flexibilidade...** pode ser aplicado a distintas escalas temporais; (b) **baixa complexidade**, uma vez que requiere um conjunto de cálculos simples; (c) **adaptabilidade** a variáveis hidro-climatológicas para além da precipitação; e (d) **adequado à representação espacial**, permitindo a comparação de áreas dentro da mesma região.
- ✓ **SPI, escalas temporais...** a **1 mês** é essencialmente um indicador de seca meteorológica ... entre **3 e 6 meses** pode ser considerado um indicador de seca agrícola... e entre **6 e 12 meses** é considerado um indicador de seca hidrológica, tornando-se útil para a monitorização de recursos hídricos superficiais.

# 1. Introdução. Objectivos

- ✓ **Objectivos** (deram origem a artigos publicados em Journals com factor de impacto alto)
- **Caracterização** da **variabilidade temporal e espacial** das secas no que diz respeito às regiões identificadas pela **classificação espacial**... Também a identificação dos **ciclos de eventos secos e húmidos** nesses padrões temporais.
- **Análise regional de frequência** com vista à identificação de funções de distribuição regional de frequência que possam originar **mapas de magnitude** de seca (análise de “perigosidade”).
- **Hindcasting\*** ou **Previsão** do fenómeno de **seca** (\* forma de testar ou validar um modelo, através da sua aplicação para um período no passado e através da comparação dos resultados com observações).
- Estabelecimento de **superfícies de precipitação** que fornecem **limites** para um reconhecimento expedito de seca numa base mensal ou em diferentes escalas temporais.

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal\*

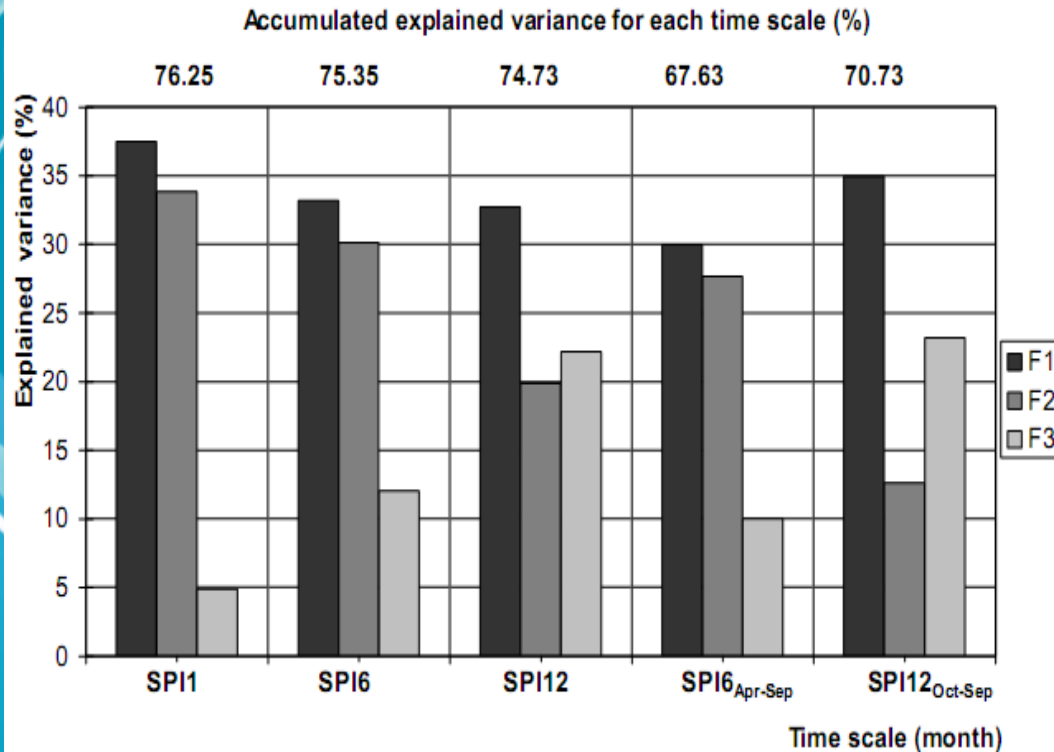
- ✓ **SPIs considerados ... a 1 (SPI1), 6 (SPI6), e 12 (SPI12) meses consecutivos; e sazonalmente a 6 meses da estação seca (SPI6<sub>Apr-Sep</sub>); e a 12 meses do ano hidrológico (SPI12<sub>Oct-Sep</sub>).**



- ✓ **Análise de componentes principais (PCA)**  
(... séries SPI ...) **identificação de padrões e expressão dos dados de tal forma que se evidenciam as suas semelhanças e diferenças.**
  
- ✓ **Análise de clusters não-hierárquica (KMC)**  
(... séries SPI ...) **agrupamento de postos udométricos de forma que variações semelhantes do SPI são agrupadas, enquanto que variações diferentes são agrupadas separadamente.**
  
- ✓ **Análise espectral**  
(... séries SPI...) **reconhecimento de padrões cíclicos através da decomposição de séries temporais complexas em algumas funções subjacentes com comprimentos de onda próprios.**

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados - PCA

### PCA – Componentes Principais: variância explicada



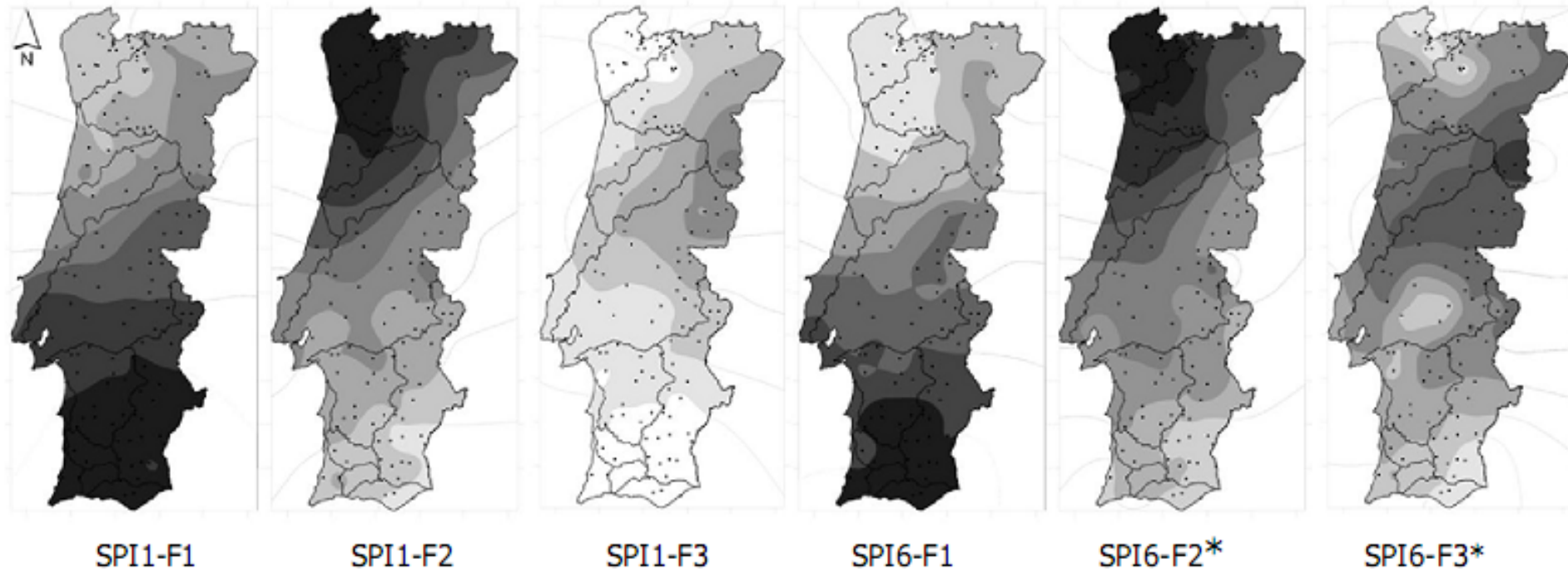
✓ **três componentes principais (F1, F2 e F3) que explicam mais de 70% da variância total.**

✓ **primeiro componente (F1) explica entre 30 e 37% da variância total.**

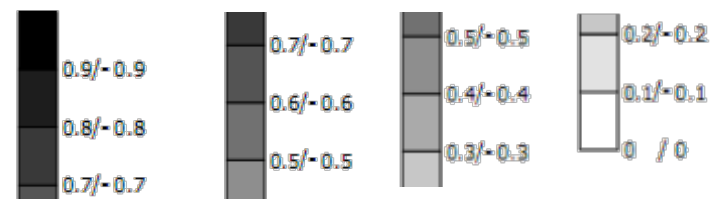
✓ **segundo componente (F2) explica 30% da variância total para as escalas temporais mais baixas (1 e 6 meses) sendo menos importante do que o terceiro (F3) para a maior escala temporal (12 meses).**

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados - PCA

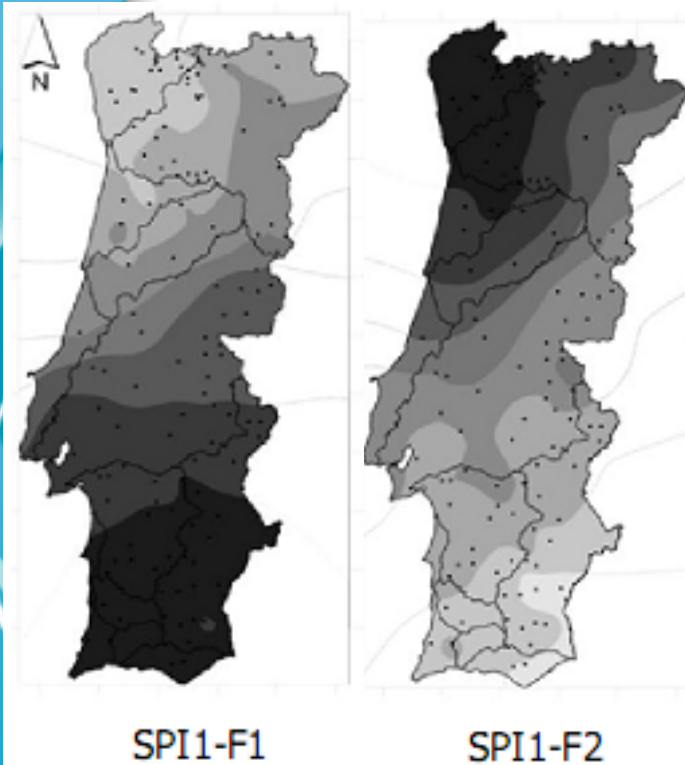
... representação da **extensão espacial** dos primeiros **três** componentes (F1, F2 e F3) através do mapeamento dos valores da **matriz factorial** (correlações entre cada componente e campo original de SPIs)



✓ Para **todas** as escalas temporais de SPI, o **primeiro componente (F1)** evidencia uma área localizada no **sul de Portugal**

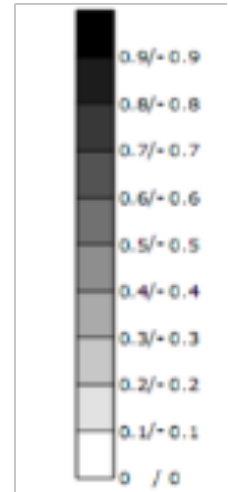


## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados - PCA

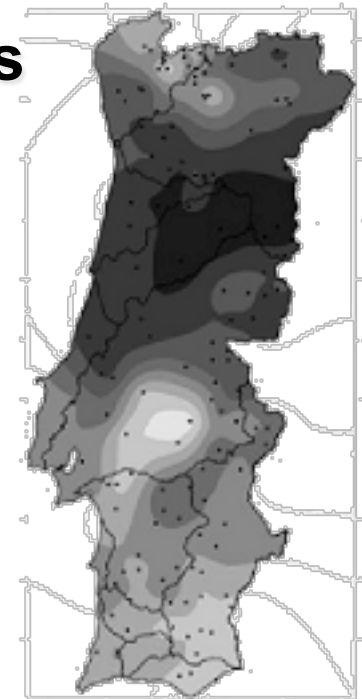


✓ ... **F2** é principalmente **representativo** da região **noroeste**.

✓ **F1** e **F2** não se **sobrepoem**, são claramente **disjuntivos** em termos **espaciais**.



✓ ... **terceiro componente F3** evidencia uma **região central** que confina com as regiões identificadas por **F1** e **F2**.



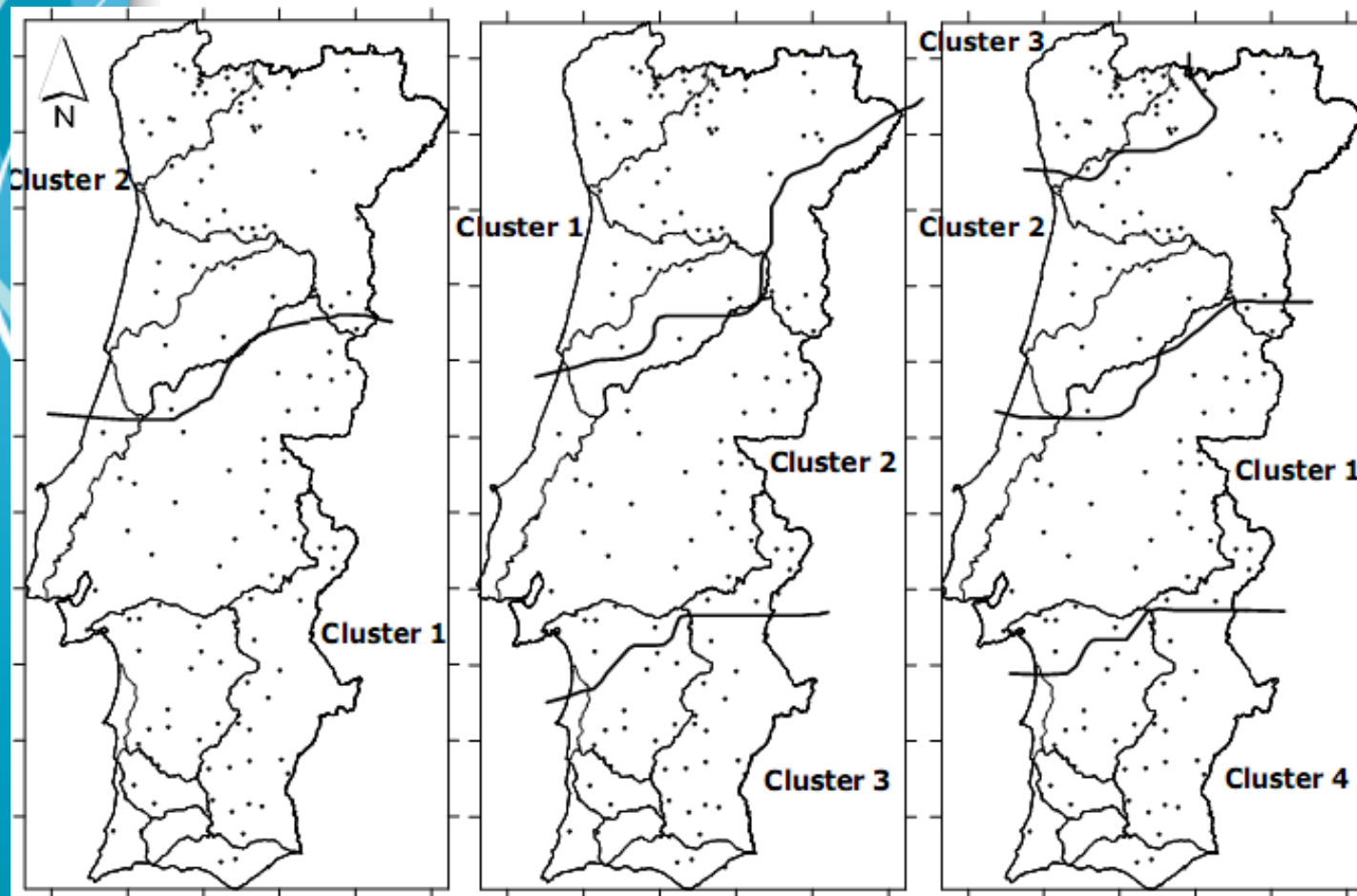
**SPI12-F3\***

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados - KMC

### KMC – Clusters das K-médias: grupos de classificação

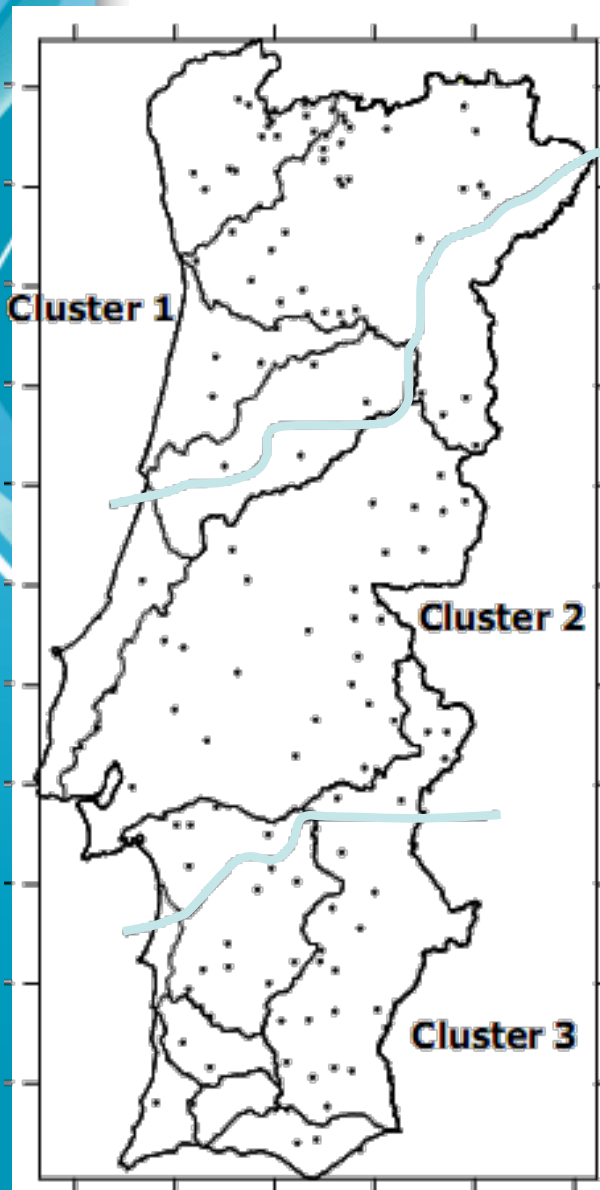
SPI6<sub>Apr-Sep</sub>

(...resultados semelhantes para SPI1, SPI6, SPI12 e SPI12<sub>Oct-Sep</sub>)



...  
**distribuição  
espacial dos  
clusters para 2,  
3 e 4 grupos  
de classificação**

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados - KMC

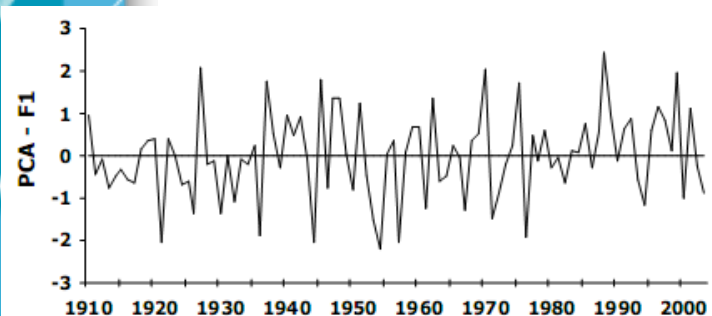


... a partir da **análise de clusters (KMC)**, identificaram-se também **três** regiões, um número semelhante aquele encontrado pelo **método dos PCA**.

... **ambos os métodos** podem ser utilizados para identificar **regiões** onde o SPI apresenta diferentes padrões temporais

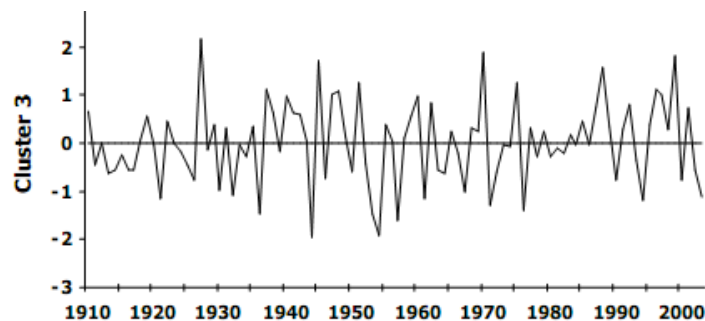
## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados

**Padrões temporais: ... os resultados dos PCA e dos KMC mostram novamente serem idênticos**



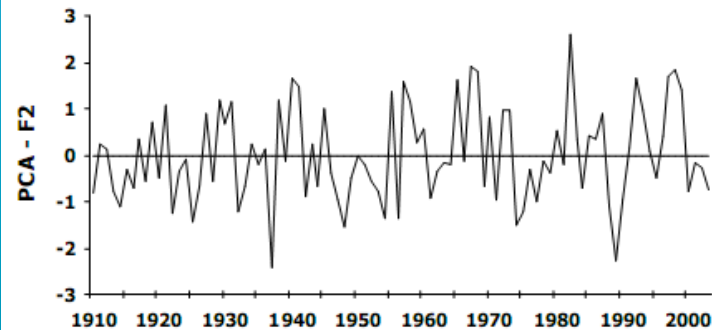
**PCA - F1**

**Sul de Portugal**  
(SPI6<sub>Apr-Sep</sub>)



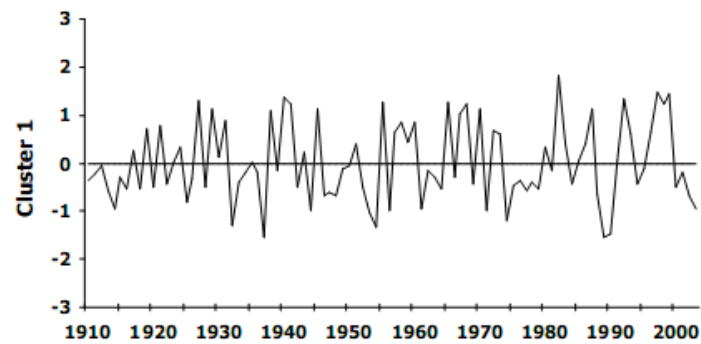
**Cluster 3**

$R_{\text{Pearson}} = 0.964$



**PCA - F2**

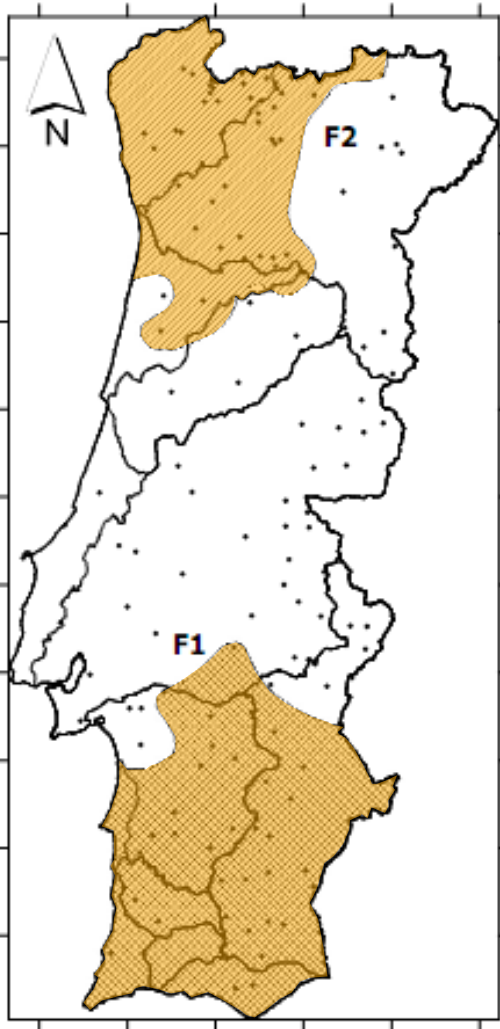
**Noroeste de Portugal**  
(SPI6<sub>Apr-Sep</sub>)



**Cluster 1**

$R_{\text{Pearson}} = 0.938$

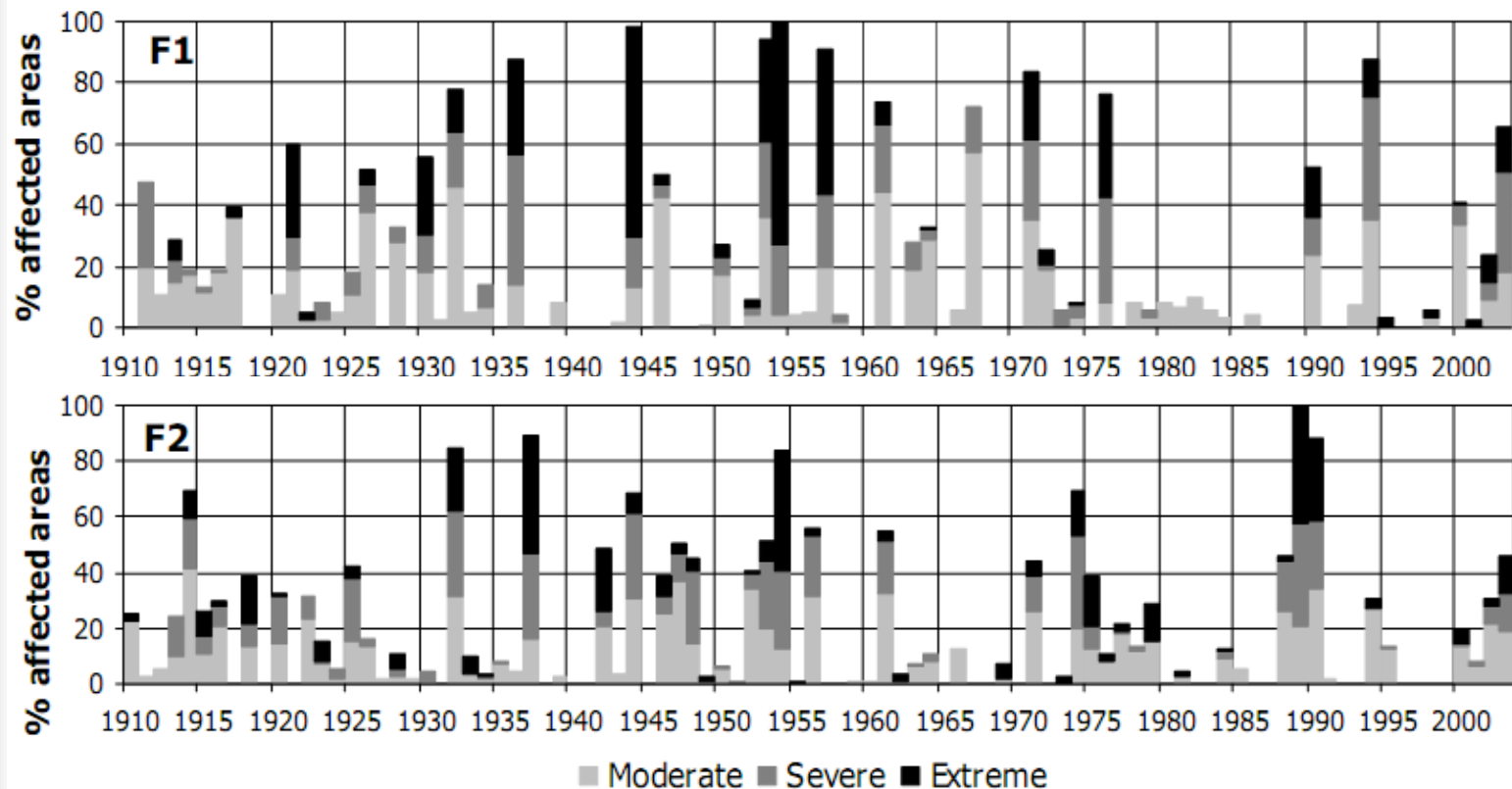
**Evolução da área afectada por seca: ... de acordo com a classificação dos PCA e para SPI6<sub>Apr-Sep</sub> ...**



✓ **Evolução Temporal da área afectada por seca moderada, severa e extrema nas regiões (evidenciadas na figura) com correlações, que de acordo com os PCA, foram superiores a 0.7**



## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados



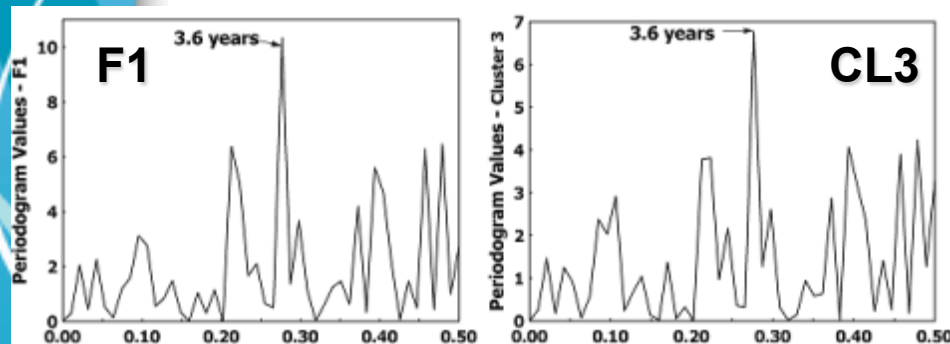
✓ **Região Sul (F1)** é mais afectada por eventos de seca do que o Noroeste (F2). O número de eventos que afectam mais de **50%** da área foi **17** no Sul e **12** no Norte.

✓ As **secas extremas** que afectam maior área ocorreram na região Sul com **69%** e **73%** de área afectada em **1944** e **1954**, respectivamente, e na região Noroeste com **43%** em **1954** e **1989**.

## 2. Variabilidade espacial e temporal das secas em Portugal. Resultados

### Análise espectral

- ✓ A técnica da transformada rápida de Fourier, ou FFT, foi utilizada para analisar o **comportamento ciclico** dos padrões de SPI (baseados nos PCA e na análise de cluster).

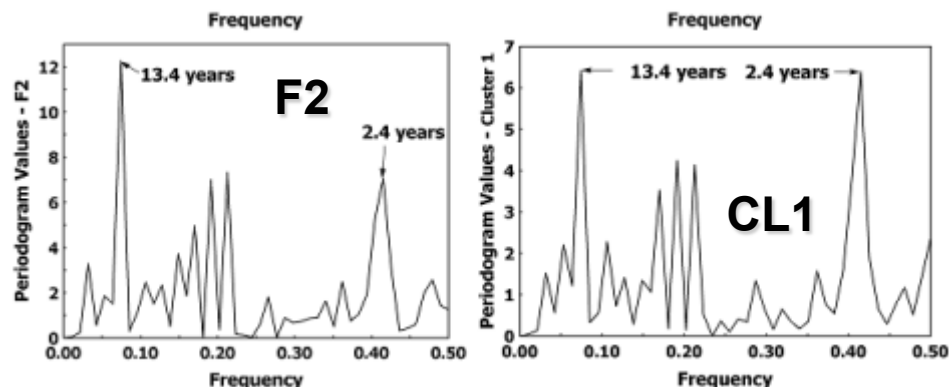


### Região Sul

Um pico muito claro no periodograma, representando um período de **3.6 anos**.

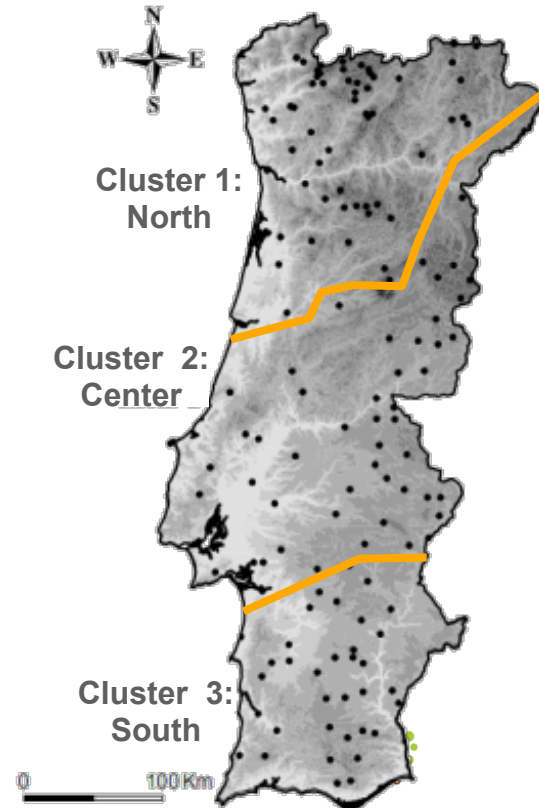
### Região Noroeste

Dois picos no periodograma, representando, um período de **2.4 anos** e, o outro, um período de **13.4 anos**.



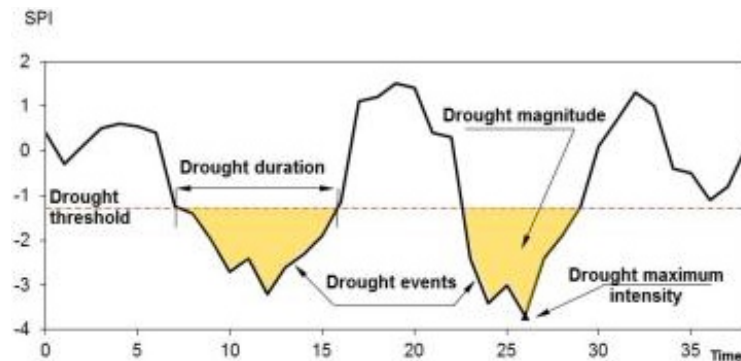
### 3. Análise Regional de Frequência de Secas\*

- ✓ ... estudo baseado nas três regiões previamente identificadas e com diferentes padrões de seca.



### 3. Análise Regional de Frequência. Modelos

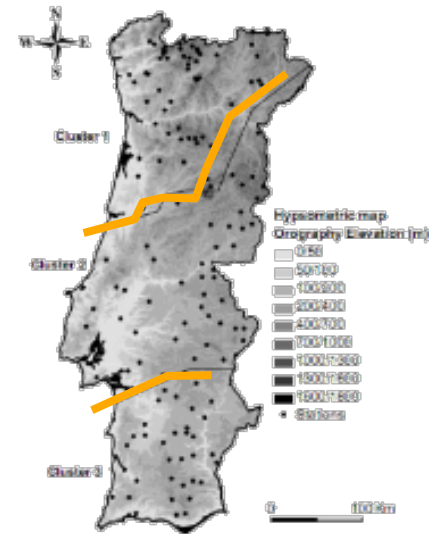
- ✓ ... O conceito de seca compreende um **início**, um **fim**, uma **intensidade** e uma **magnitude**.
- ✓ ... para cada um dos **144 postos** e para as diferentes **escalas temporais do SPI**, as séries temporais de **magnitude de seca** foram estabelecidas e analisadas através de duas abordagens:
- ✓ **AMS (séries de máximos anuais)** ... constituídas com base no maior evento de seca ocorrente em cada ano: **uma máxima seca por ano**, desde que esse evento seja maior do que um dado limiar.
- ✓ **PDS (séries de duração parcial)** ... constituídas por vários eventos por ano: o primeiro, **segundo**, **terceiro**, etc. maiores eventos de seca, desde que sejam mutuamente independentes e maiores que um dado limiar.



Limiar adoptado: -0.84



- ✓ A análise regional de frequência foi aplicada separadamente em cada uma das três regiões (... com 56, 53 e 35 postos, cluster 1, 2 e 3, respectivamente).



- ✓ ... de acordo com a metodologia de Hosking e Wallis: (1º) rastreio dos dados de forma a identificar postos discordantes dentro de um grupo e assim testar a hipótese de homogeneidade regional; (2º) uma vez confirmada a homogeneidade de uma dada região, identifica-se (diagramas dos momentos-L e Z-statistic) a função de distribuição de probabilidade regional.

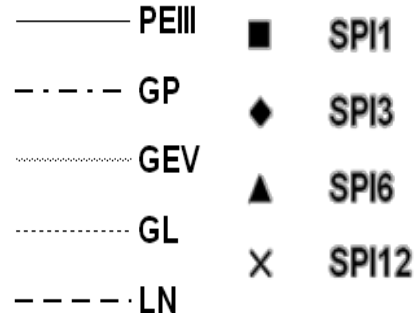
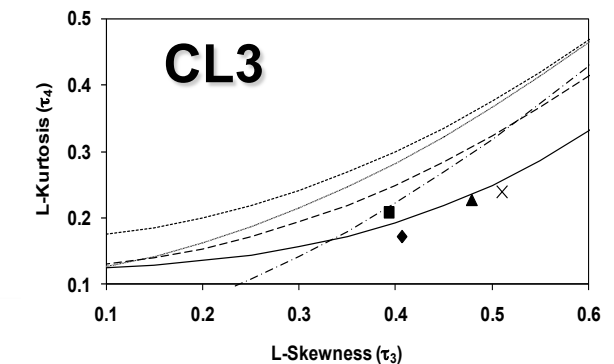
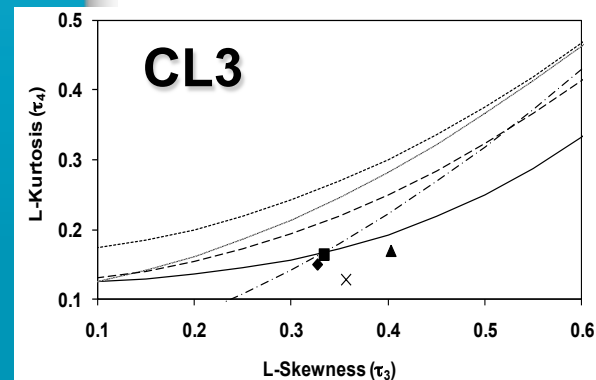
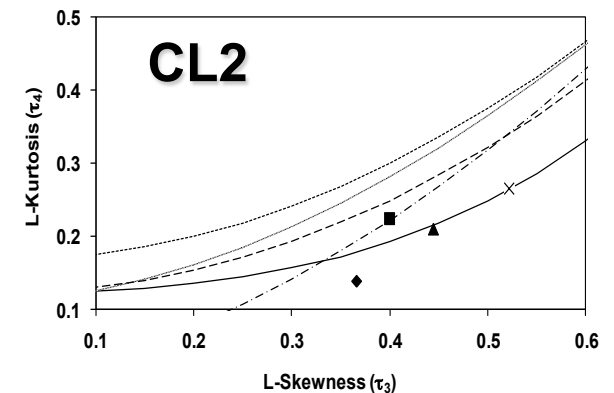
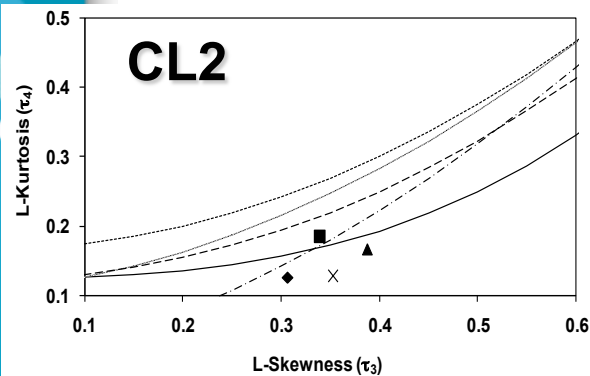
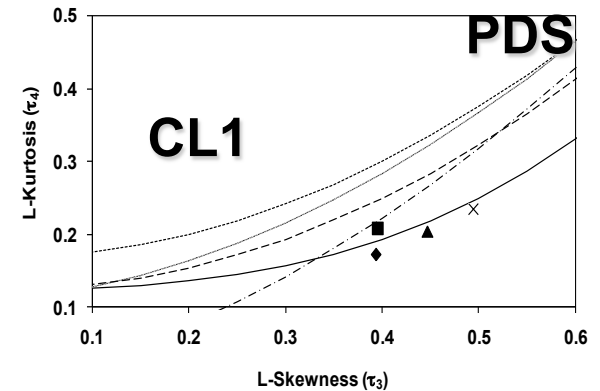
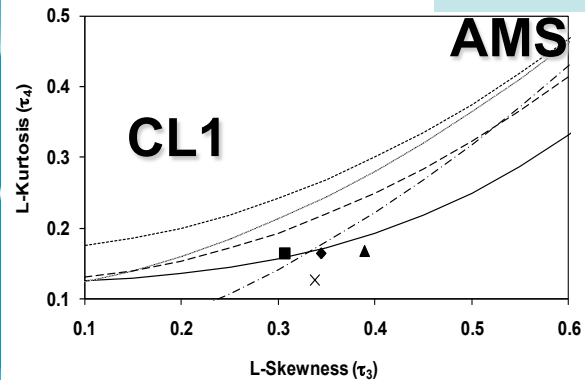
#### (1) rastreio dos dados e teste da homogeneidade regional

- ✓ ...medida de discordância ( $S_i$ ) resultou na selecção de 131 e 133 postos para a abordagem AMS e PDS, respectivamente.
- ✓ ...medida de heterogeneidade ( $H_1$ )... AMS leva a melhores resultados em todos os clusters, comparativamente, à abordagem PDS.

#### (2) identificação da distribuição de probabilidade regional

### 3. Análise Regional de Frequência. Resultados

#### Identificação da função de distribuição de probabilidade regional (diagramas de momentos-L):



- PEIII: Pearson III
- GP: generalized Pareto
- GEV: generalized extreme value
- GL: generalized logistic;
- LN: lognormal-3.

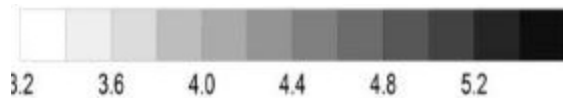
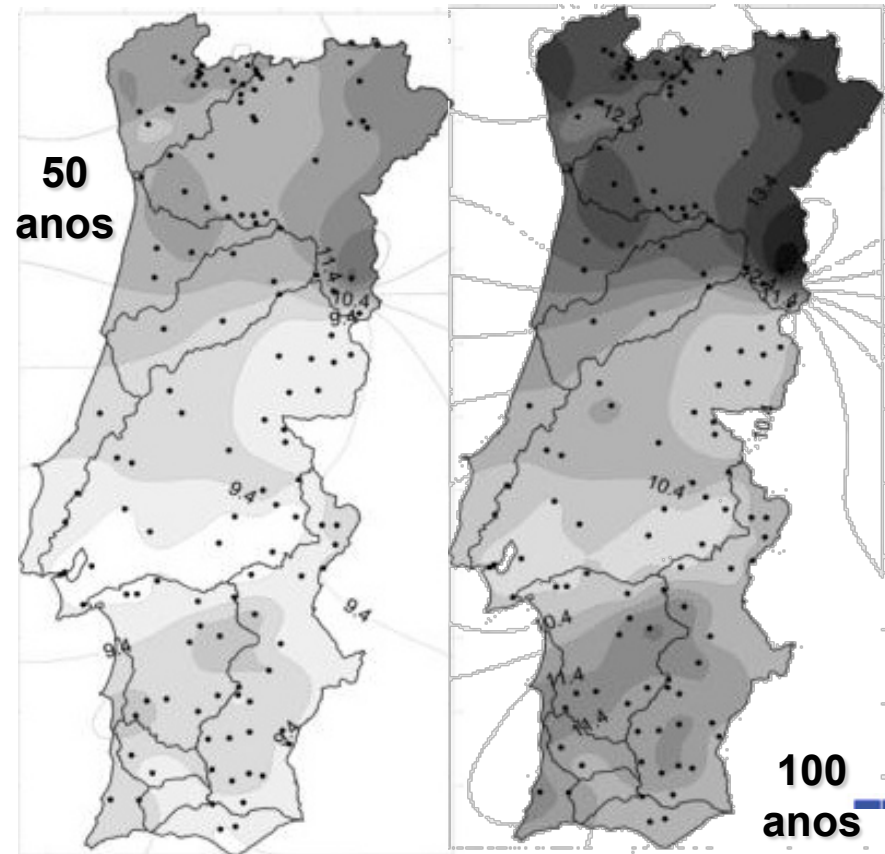
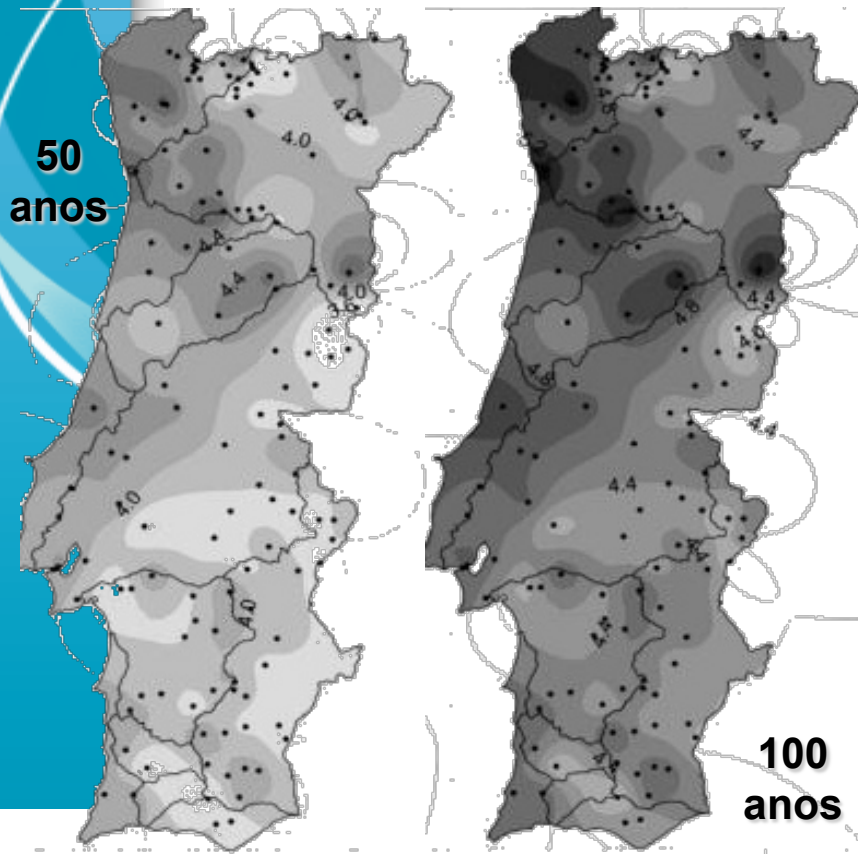
- ✓ Para a abordagem **AMS**, melhores ajustamentos para **PEIII** e a **distribuição GP**, dependendo da escala temporal.
- ✓ ... **PDS** foi obtida uma **distribuição mais ampla** dos pontos médios. Houve uma ligação entre o **SPI1** e a **distribuição GP** enquanto que a **distribuição PEIII** permanece o melhor modelo para as restantes. Sempre que a **Z-statistics**  $> 1.64$ , adoptou-se a **distribuição kappa**.
- ✓ Para comparar entre as **magnitudes de seca** fornecidas pela **AMS** e **PDS** através dos modelos de distribuição regional seleccionados foi aplicada uma medida de erro, **RMSE**, às diferenças entre magnitudes observadas e estimadas.
- ✓ Os resultados alcançados sugeriram um **melhor desempenho do modelo AMS**.



✓ AMS .. mapas de magnitude de seca para os períodos de retorno de 50 e de 100 anos

SPI1

SPI3



## 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global

- ✓ Com base... **(1)** predictores de larga escala (**SST** – temperatura da superfície do mar) e **padrões de circulação atmosférica (NAO – Oscilação do Atlântico Norte)** para a variabilidade espaço-temporal da seca;
- ✓ **(2)** avaliação da capacidade dos modelos de efectuar o **hindcast** com base em **mapas de probabilidade** de ocorrência de secas.

#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. modelos

### Modelos aplicados:

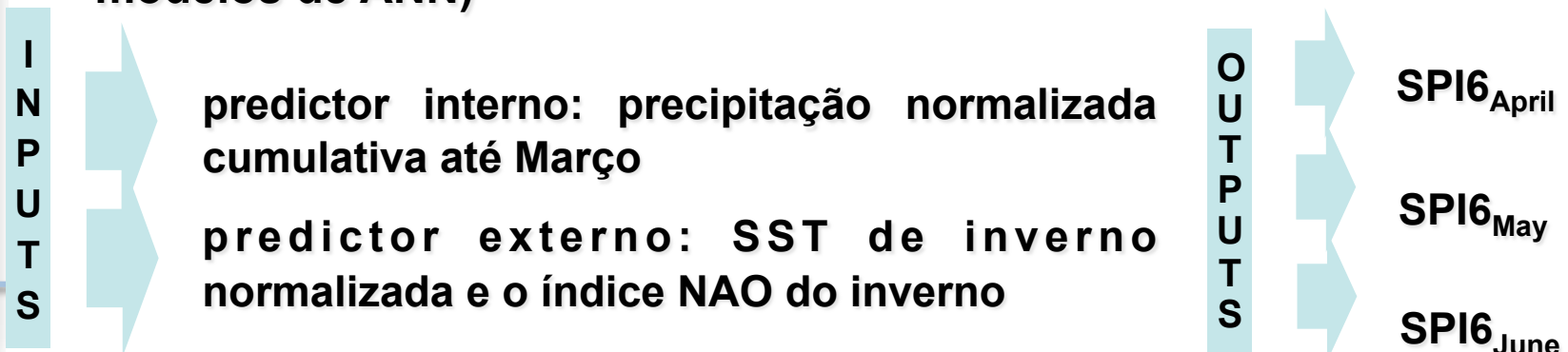
- ✓ **ANNs** com vários predictores para efectuar o hindcast e secas na região **Norte (CL1), Centro (CL2) e Sul (CL3)**...

O índice de seca a ser “previsto” foi o SPI6 para os meses da primavera:  $SPI6_{April}$ ,  $SPI6_{May}$  e  $SPI6_{June}$ .

(Porque? O SPI6 é uma ferramenta de monitorização útil para a avaliação de **seca agrícola**; a seca detectada na **primavera** ir-se-á **manter** no **mínimo** até ao **início** do ano hidrológico)

### Abordagem de modelação :

- ✓ **calibração e validação Individual de ANN** para cada posto (144 modelos de ANN)



#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. modelos

##### Abordagem de modelação:

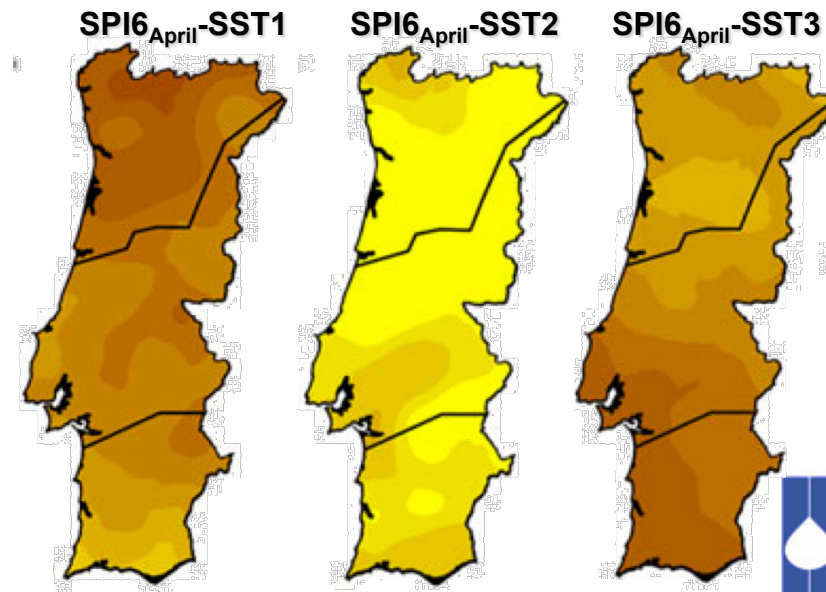
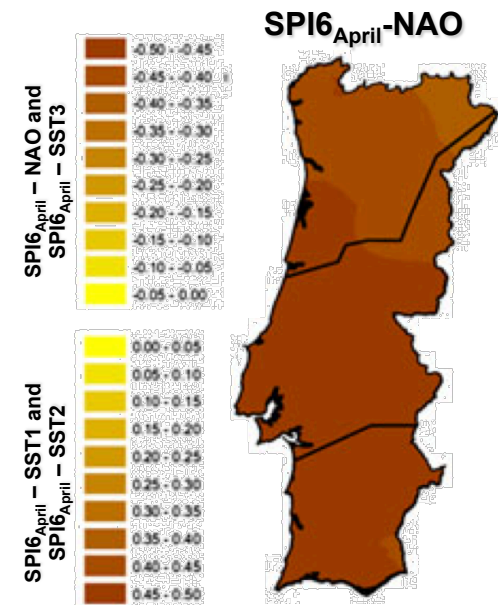
- ✓ Foram obtidos **mapas de correlação linear** entre o  $SPI6_{April}$ ,  $SPI6_{May}$  e  $SPI6_{June}$  e SST1, SST2, SST3 e NAO... **fornecendo** as bases para a selecção das **variáveis de input**.
- ✓ **Incerteza** das previsões foi avaliada através de **mapas de probabilidade** baseados na **distribuição dos resíduos** da melhor rede neuronal (ANN) em cada posto e em cada mês do SPI6.

Os resíduos devem ser uma variável aleatória que segue aproximadamente a lei normal.

#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. Resultados

Seleccção... **predictores externos (SST e NAO)**, efectuada com base na **correlação linear** entre **SPI6** e cada **predictor** ...

- ✓ Padrões semelhantes para **SPI6<sub>April</sub>**, **SPI6<sub>May</sub>** ou **SPI6<sub>June</sub>**
- ✓ Correlações entre **SST2** e qualquer dos SPI6 sempre muito fraca e sem significado estatístico → **SST2** excluído de predictor externo.
- ✓ Resultados indicaram que os índices **NAO**, **SST1** e **SST3** podem ser adoptados como **predictores externos** para o hindcasting do **SPI6**.

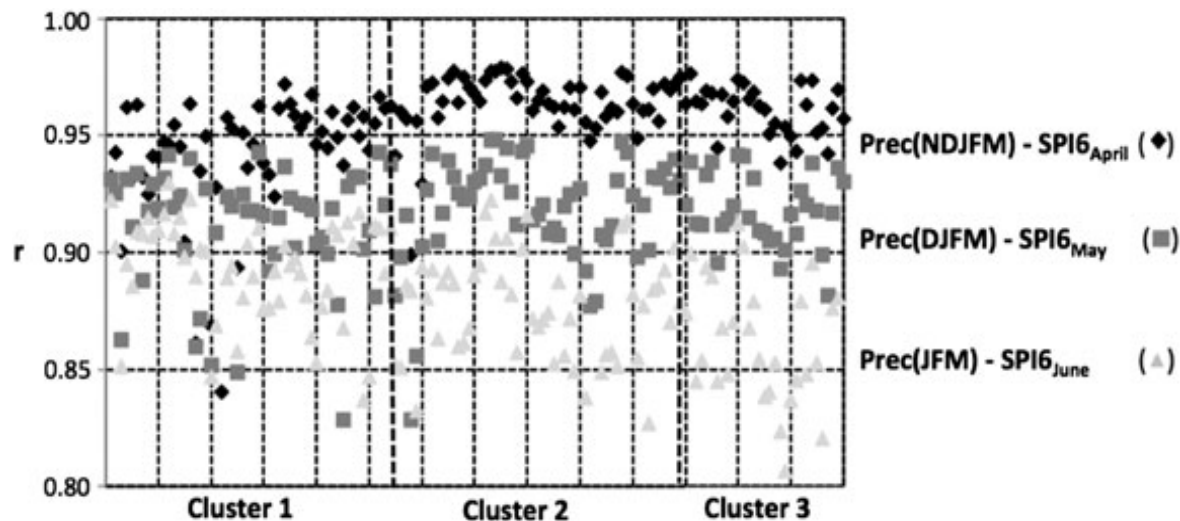


#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. Resultados

##### Seleção de preditores internos, precipitação

- ✓ **Precipitação** → **variável mais importante** para a **monitorização e previsão de seca**, e a **única utilizada** para calcular o **SPI6** → a sua **adequabilidade como predictor interno** foi também avaliada.
- ✓ ... em cada posto udométrico a **correlação entre as precipitações normalizadas acumuladas** (de Novembro a Março,  $P(\text{NDJFM})$ , de Dezembro a Março,  $P(\text{DJFM})$ , e de Janeiro a Março,  $P(\text{JFM})$ , e o  $\text{SPI6}_{\text{April}}$ ,  $\text{SPI6}_{\text{May}}$  e  $\text{SPI6}_{\text{June}}$ , respectivamente).

Correlações entre  
 $P(\text{NDJFM})$  e o  
 $\text{SPI6}_{\text{April}}$ ; seguido de  
 $P(\text{DJFM})$  e  $\text{SPI6}_{\text{May}}$  e  
por  $P(\text{JFM})$  e  
 $\text{SPI6}_{\text{June}}$

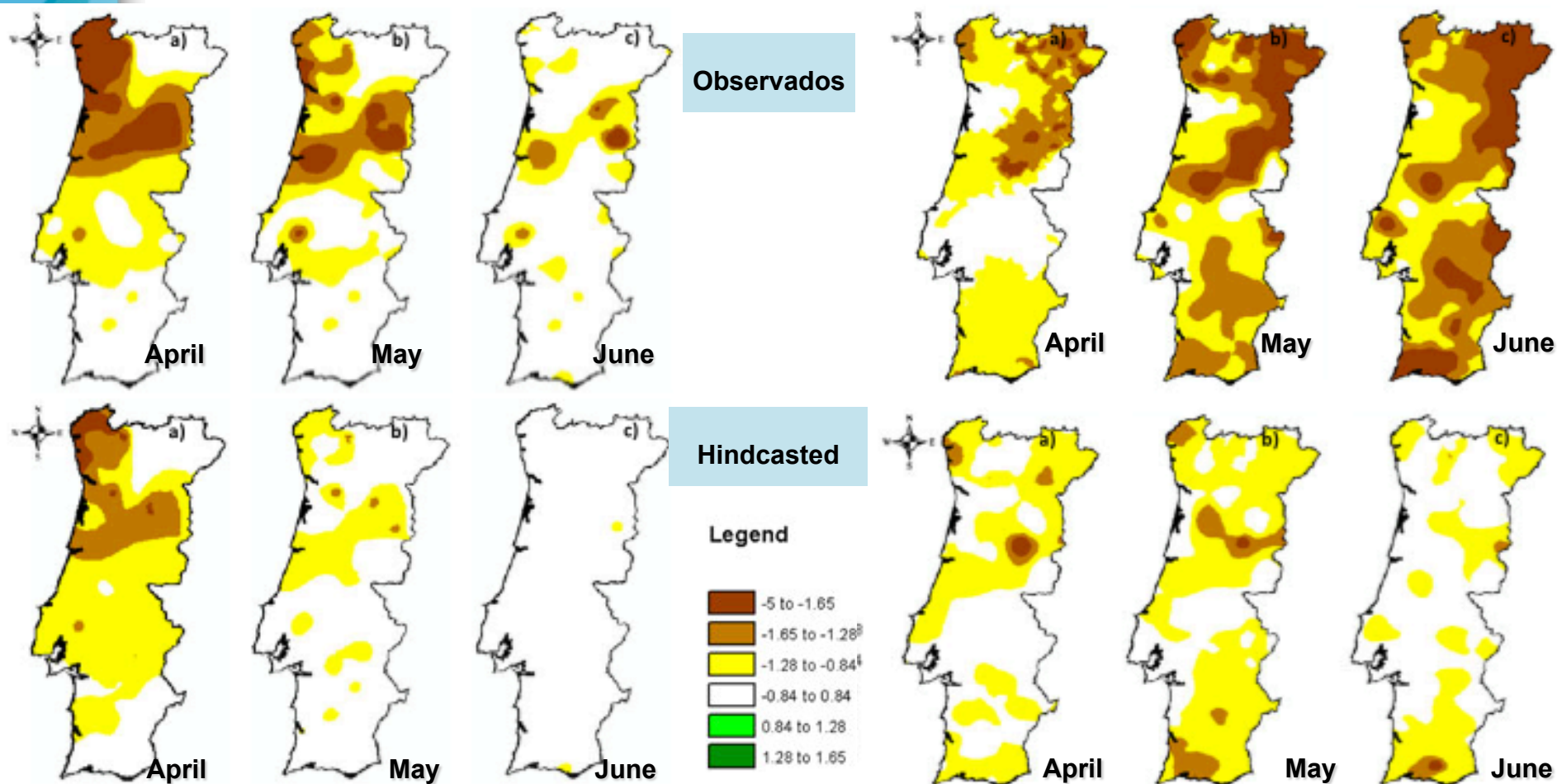


#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. Resultados

2002

Secas observadas versus Secas hincasted

2004



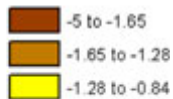
- ✓ As ANNs subestimam a extensão espacial das áreas em seca.
- ✓ O desempenho das ANNs é melhor para Abril de 2002.
- ✓ Especialmente para 2004, as capacidade das ANNs diminui progressivamente à medida que o intervalo temporal de previsão aumenta.

#### 4. Previsão de secas na primavera baseada na NAO e em SST Global. Resultados

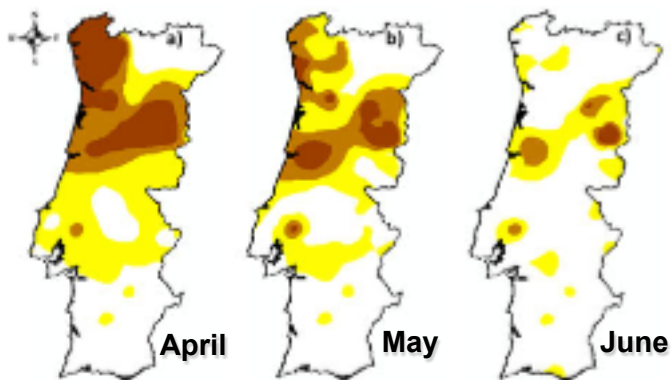
### ✓ Mapas de probabilidade para os meses da primavera de 2002 e 2004

... probabilidade de ter uma seca de intensidade igual ou pior que um dado limiar  $\longleftrightarrow$  -0.84 (moderada), -1.28 (severa) e -1.65 (extrema).

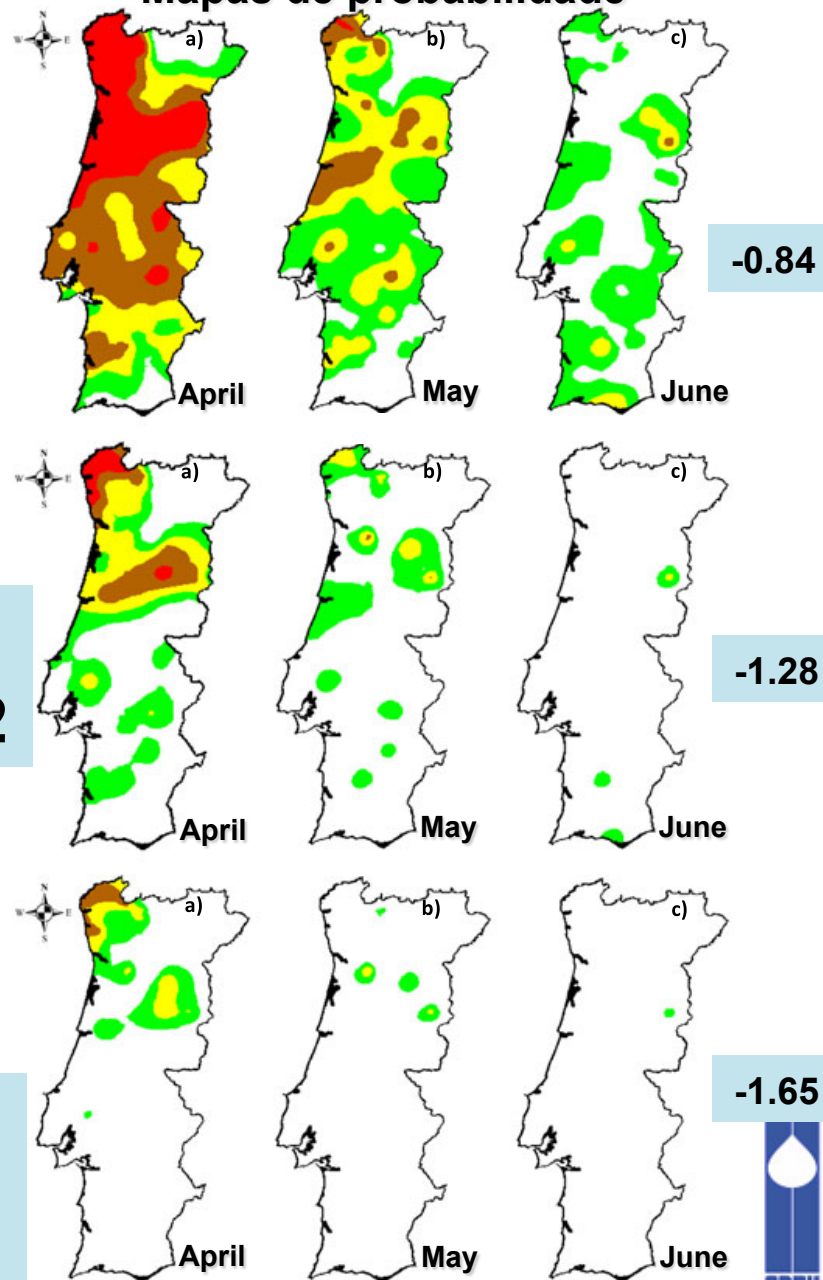
Legend



Secas observadas



Mapas de probabilidade



Diminuição da capacidade predictiva à medida que o intervalo temporal aumenta, mas as regiões em seca são sempre identificadas.



## 5. Limiares de precipitação para reconhecimento de secas\*

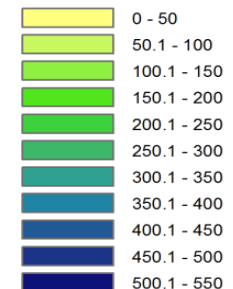
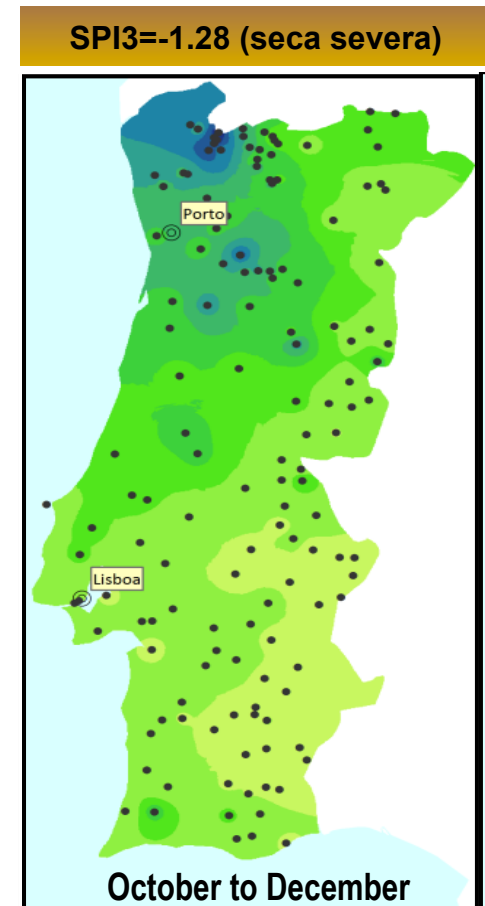
- ✓ Foi realizado um cálculo inovador adicional que devolve os valores dos **SPI** ao campo das precipitações, facilitando uma adequada interpretação do significado do índice de seca (SPI) e possibilitando uma identificação mais fácil dos eventos de seca.



## 5. Limiares de precipitação para reconhecimento de secas. modelos

✓ ... por inversão dos mapas de SPI obtem-se a distribuição espacial da precipitação em 1, 3, 6 e 12 meses para diferentes limiares de seca: Se numa dada localização a precipitação registada em qualquer dos intervalos de tempo considerados fica abaixo do valor dado pelo mapa, então esta a ocorrer uma **seca (... severa ou extrema de acordo com o limiar ao qual o mapa se refere)**.

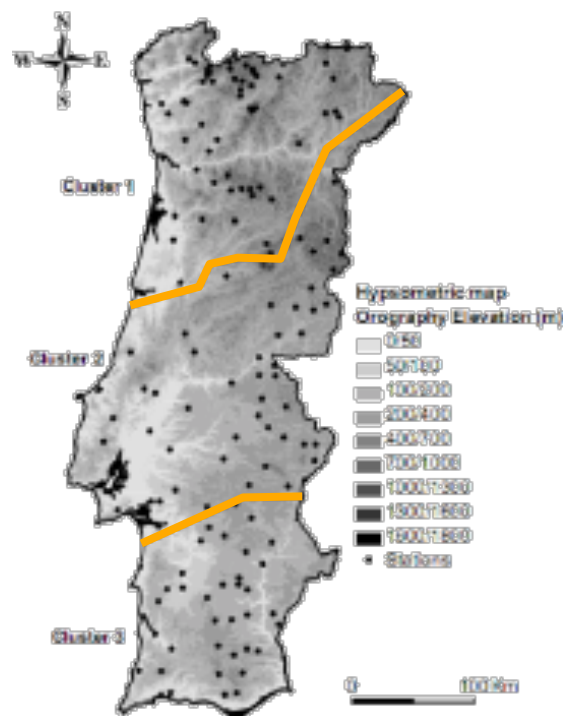
**Superfícies de limiares de precipitação  
mensal ou acumulada para  
reconhecimento de seca**



# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

## Principais desenvolvimentos (para Portugal Continental)

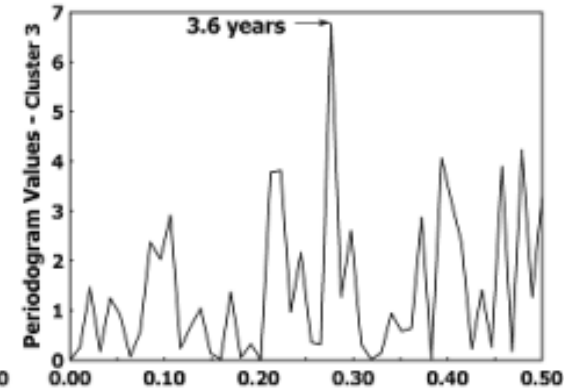
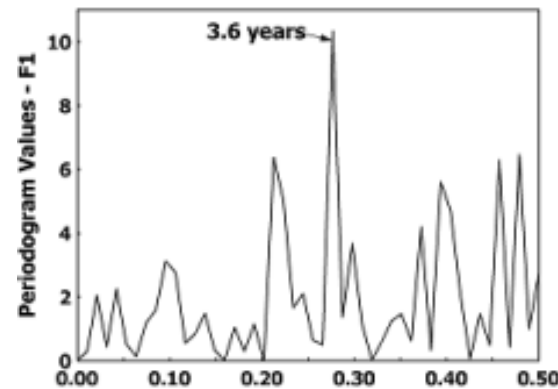
1. Três regiões coerentes com diferentes comportamentos de seca foram identificadas: o Norte, o Centro e o Sul.



# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

## Principais desenvolvimentos (para Portugal Continental)

2. Através da aplicação de análise espectral, os sinais periódicos nas séries temporais de SPI foram reconhecidos, revelando ciclos mais frequentes do SPI no Sul do que no Norte.

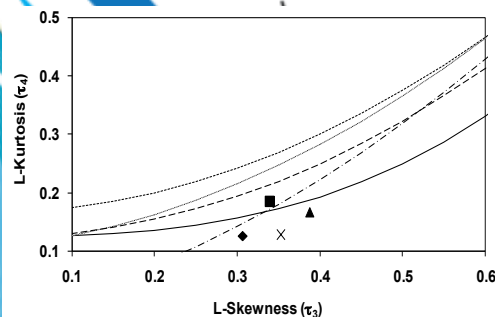


# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

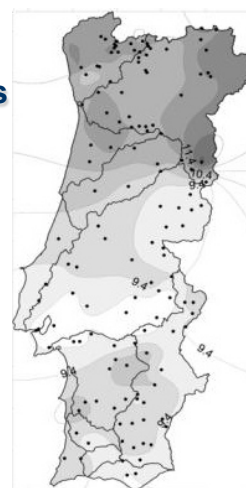
## Principais desenvolvimentos (para Portugal Continental)

3. A análise comparativa entre as séries de máximos anuais, **AMS**, e as séries de duração parcial, **PDS**, baseadas na metodologia de **Hosking e Wallis** levou a uma maior fiabilidade da abordagem **AMS**.

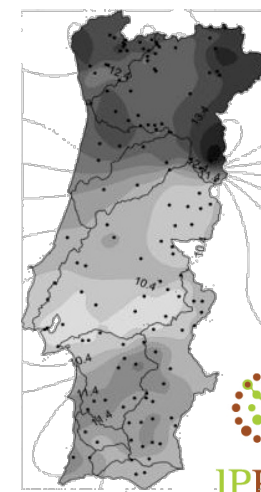
Foram obtidos mapas de magnitude de seca.



50 anos



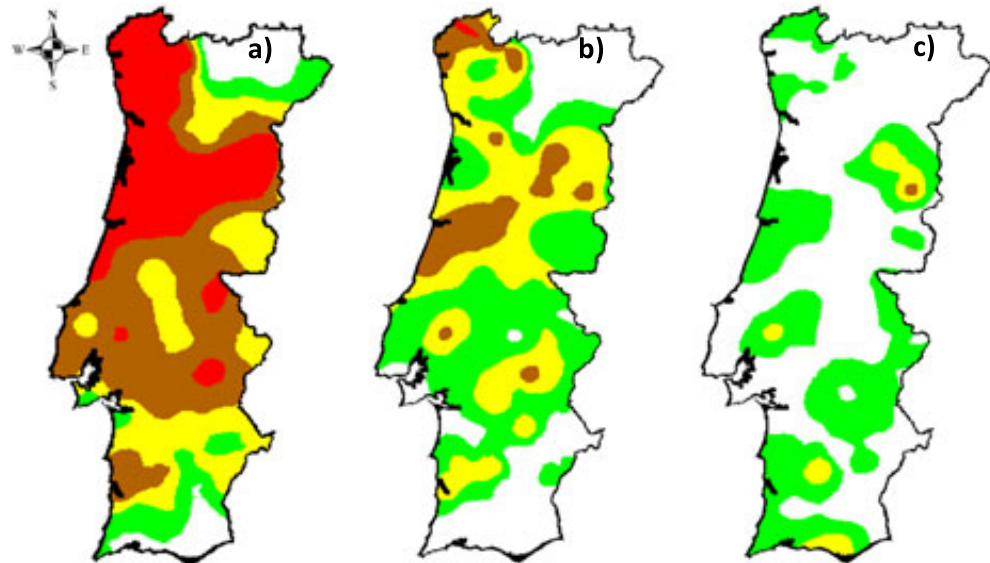
100 anos



# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

## Principais desenvolvimentos (para Portugal Continental)

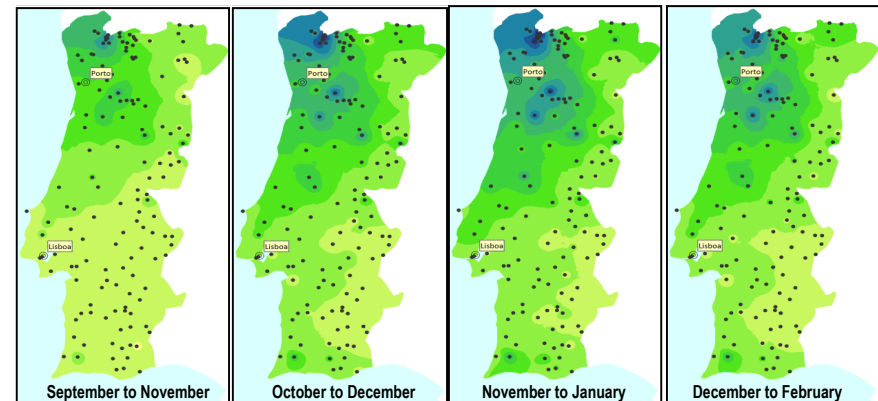
4. Demonstrou-se ser possível ter uma estrutura de hindcasting sazonal capaz de prever secas baseando-se num novo conceito de mapas de probabilidade e utilizando variáveis oceânicas (SST) e padrões de circulação atmosférica (NAO).



# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

Principais desenvolvimentos (para Portugal Continental)

5. Com um objectivo mais prático, uma nova abordagem à utilização do SPI foi proposta com vista a um reconhecimento de seca expedito baseando-se em superfícies de limiares de precipitação mensal e acumulada.



# 6. Conclusões gerais e desenvolvimentos futuros

## Desenvolvimentos futuros (para Portugal Continental)

- 1. A análise do comportamento das secas em ligação com o fenómeno das alterações climáticas necessita de ser aprofundado à luz dos resultados obtidos nestas investigações.**