



Hinc patriam sustinet

**Instituto Superior de Agronomia**  
**Universidade Técnica de Lisboa**

## **Análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação e seca em Portugal**

**Diogo Miguel dos Santos Martins**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais**

Orientador: Doutor Luís Alberto Santos Pereira

Co-Orientador: Doutora Ana Maria Ambrósio Paulo

### **Júri:**

**PRESIDENTE** - Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

**VOGAIS** – Doutor Luís Alberto Santos Pereira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

– Doutor José Paulo Morão de Melo e Abreu, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

– Doutora Ana Maria Ambrósio Paulo, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Santarém;

– Doutora Elsa Estevão Fachadas Nunes Moreira, Investigadora da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Lisboa, 2012

## Agradecimentos

Ao Professor Luís Santos Pereira por todo o apoio, oportunidades e confiança que depositou em mim e no meu trabalho ao longo destes últimos três anos, que me ajudou a crescer e com quem tive a honra de poder trabalhar.

À minha Co-orientadora, a Professora Ana Paulo, que desde o início nesta aventura pelas secas, foi fundamental para me ensinar, guiar e ajudar a não perder os meus objectivos de vista.

To Dr. TayebRaziei for all the knowledge shared, the help and patience to correct all the work I have done, without his guidance this work would be quite different.

À Eng. Paula Paredes e ao Eng. Ricardo Rosa ,pela paciência para aturar todas as minhas perguntas.

Aos meus pais, obviamente, o sacrifício, o amor e a enorme paciência. Espero poder, algum dia, recompensar tudo o que me deram. A toda a minha família, Avô, Madrinha, Tias, Tios primos e, claro, ao Buddy.

Aos meus excelsos, caros e nunca assaz louvados amigos. Aqueles seis (o infelizmente denominado “ganguê”) que foram os melhores companheiros que se poderia desejar em todo este percurso. Aos novos que ajudaram a fazer deste último ano e meio, inesquecível. Aos de sempre, aos temporários, aos do *jujutsu*, aos dos matrecos e aqueles que eu não me lembro, mas que de uma forma ou de outra me ajudaram a chegar aqui.

À minha Avó.

A todos e entre todos partilho a maior e a mais sincera das gratidões.

## Resumo

A variabilidade espacial da precipitação e secas são estudadas para Portugal usando dados de precipitação mensal referentes a 74 estações e temperaturas máximas e mínimas de 27 estações para o período de 1941-2006. A precipitação sazonal, a percentagem de precipitação em cada estação e o Índice de Concentração de Precipitação (PCI) foram calculados para as 74 estações e depois submetidas a uma Análise de Componentes Principais (PCA) em modo R seguida de uma análise de clusters para identificar os padrões de variabilidade da precipitação. O Standardized Precipitation Index (SPI) nas escalas de 3 e 12 meses foi calculado para as 74 estações com dados de precipitação e o Palmer Drought Severity Index (PDSI) e o MedPDSI foram calculadas para as 27 estações com dados de temperatura e precipitação. Os padrões de variabilidade espacial em Portugal são identificados usando a PCA em Modo S, com rotação Varimax para as matrizes dos índices de seca. A análise temporal dos PC scores dos índices de seca não evidenciam tendência para o aumento ou diminuição das secas e da sua severidade em Portugal. Mais ainda, os resultados mostram uma grande coerência entre os vários índices de seca considerados.

**Palavras chave:** PCA, Análise de Clusters, SPI, PDSI, MedPDSI, Tendência Linear.

## **Abstract**

The spatial variability of precipitation and drought are investigated for Portugal using monthly precipitation from 74 stations and minimum and maximum temperature from 27 stations, covering the common period of 1941– 2006. Seasonal precipitation and the corresponding percentages in the year, as well as the precipitation concentration index (PCI), was computed for all 74 stations and then used as an input matrix for an R-mode principal component analysis to identify the precipitation patterns. The standardized precipitation index at 3 and 12 month time scales were computed for all stations, whereas the Palmer Drought Severity Index (PDSI) and the modified PDSI for Mediterranean conditions (MedPDSI) were computed for the stations with temperature data. The spatial patterns of drought over Portugal were identified by applying the S-mode principal component analysis coupled with varimax rotation to the drought indices matrices. The result revealed two distinct sub-regions in the country relative to both precipitation regimes and drought variability. The analysis of time variability of the PC scores of all drought indices allowed verifying that there is no linear trend indicating drought aggravation or decrease. In addition, the analysis shows that results for SPI-3, SPI-12, PDSI and MedPDSI are coherent among them.

**Keywords:** PCA, Cluster Analysis, SPI, PDSI, MedPDSI, Linear trends.

## Extended Abstract

Water is essential for all socio-economic development and for maintenance of ecosystems (Pereira et al., 2009). Human growth and development is responsible for the increase pressure on water resources. However, scarcity is aggravated by water shortage and the bigger impacts are felt in the arid and semi-arid regions affected by droughts and wide climate variability. Drought can be defined as natural but temporary imbalance of water availability consisting of persistent lower-than-average precipitation with uncertain frequency, duration and severity. Droughts occurrence is unpredictable or extremely hard to predict, resulting in diminished water resources availability and reduced carrying over capacity of the ecosystems (Pereira et al., 2009).

In the last decades various drought indices have been developed with the objective of showing that a drought is in progress or has occurred, as well as to identify the intensity, duration, severity, magnitude and spatial variability of droughts (Mishra and Singh, 2010). Some of the most relevant indices are the SPI (McKee et al., 1993, 1995) the PDSI (Palmer, 1965) both used in the present study along with the modification of the PDSI to the Mediterranean conditions, the MedPDSI (Pereira et al., 2007; Pereira and Rosa, 2010).

The spatial variability of precipitation and droughts over the entire mainland Portugal are investigated with the Principal Component analysis (PCA) using monthly precipitation from 74 stations and minimum and maximum temperature from 27 stations, covering the common period of 1941–2006. The precipitation analysis was made using the PCA with Varimax rotation in R-Mode considering two separate sets of variables. The results of the PCA show, in both cases, the identification of two sub-regions, one the in the north and the other in the south. The PCA was followed by a Cluster Analysis but the results did not improve the understanding of the spatial variability of the precipitation.

Regarding the variability of droughts, four drought indices were used (SPI-3, SPI-12, PDSI and MedPDSI) in a PCA in S-Mode with Varimax Rotation. In all four cases two sub-regions were identified and are in agreement with those found in the precipitation analysis and are also compatible with previous studies (Santos et al., 2010). A trend analysis of the PC scores was made to all drought indices and there was no indication of drought severity aggravation or decrease in the identified sub-region. Furthermore, the analysis shows that results for SPI-3, SPI-12, PDSI and MedPDSI are coherent among them.

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Extended Abstract .....	v
Lista de quadros e figuras .....	vii
Lista de Acrónimos.....	viii
1 Introdução .....	1
2 Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Escassez de água.....	4
2.2 Escassez e regimes xéricos .....	5
2.3 Secas.....	7
2.4 Índices de Seca.....	10
2.4.1 SPI.....	11
2.4.2 PDSI .....	13
2.4.3 MedPDSI.....	15
2.5 Em Portugal .....	15
2.5.1 Clima, Precipitação e Evapotranspiração .....	16
2.5.2 Secas em Portugal.....	17
3 Materiais e Métodos. Resultados e Discussão .....	20
4 Conclusões .....	21
Bibliografia .....	23
Anexos .....	A

## Lista de quadros e figuras

Figura 2.1. Tendência para o uso de água no Mundo, por sector. A cinzento está representado a diferença entre o consumo e a extração de água.....	3
Figura 2.2. Disponibilidade de água no planeta em m <sup>3</sup> por pessoa e por ano.....	5
Figura 2.3. Mortes relacionadas com as secas.....	7
Figura 2.4. Características das secas utilizando a teoria dos chorrilhos .....	11
Figura 2.5. Classificação Climática de Köppen para Portugal Continental.....	16
Figura 2.6. Precipitação média anual e A Evapotranspiração potencial.....	17
Figura 2.7. Percentagem da área de Portugal Continental afectada por seca moderada, severa e extrema usando o SPI-12 (a) e o MedPDSI (b).....	18
Quadro 2.1. Regimes xéricos .....	6
Quadro 2.2. Classificação dos valores de SPI e tempo na categoria.....	12
Quadro 2.3. Categorias do índice de Palmer PDSI.....	14

## Lista de Acrónimos

CMI	Crop Moisture Index
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization
IM	Instituto de Meteorologia
INAG	Instituto Nacional da Água
MedPDSI	Mediterranean Palmer Drought Severity Index
NHESS	Natural Hazards and Earth System Sciences
PCA	Principal Component Analysis
PCI	Precipitation Concentration Index
PDSI	Palmer Drought Severity Index
PC scores	Principal Component scores
RAI	Rainfall Anomaly Index
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SPI	Standardized Precipitation Index
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SWSI	Surface Water Supply Index
UNEP	United Nations Environment Programme
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization

# 1 Introdução

A água é um bem essencial para a existência de vida, determinante para o desenvolvimento socioeconómico e para a manutenção dos ecossistemas (Pereira et al., 2009). O rápido crescimento económico e populacional tem provocado uma enorme pressão sobre os recursos hídricos. Muitos países vivem actualmente em condições extremas de escassez de água, com graves consequências humanitárias, económicas e ambientais. Embora as acções do homem tenham um peso significativo na disponibilidade e qualidade da água, existem factores naturais, dificilmente ou quase impossíveis de controlar, como a ocorrência de secas, que agravam consideravelmente o fenómeno da escassez. Estes impactos são mais sentidos em regiões áridas e semi-áridas com uma elevada variabilidade climática.

As secas são um desequilíbrio natural e temporário na disponibilidade de água, de ocorrência aleatória e severidade incerta, sendo encaradas como um risco e como desastre. As características das secas (duração, severidade e extensão espacial) determinam a sua importância a nível da região, e o seu estudo é fundamental para um melhor conhecimento do fenómeno para que seja possível promover uma melhor gestão dos recursos de forma preventiva, tentando evitar os efeitos nefastos das secas.

Nas últimas décadas, vários índices de seca têm sido desenvolvidos para a caracterização e compreensão das secas em todo o Mundo. Os mais amplamente estudados para esse efeito têm sido o SPI (McKee et al., 1993, 1995) e o PDSI (Palmer, 1965), e ambos são utilizados neste trabalho, a par da modificação do PDSI para as condições mediterrânicas, o MedPDSI (Pereira et al., 2007; Pereira e Rosa, 2010).

Para compreender a importância espacial das secas, alvo de estudo neste trabalho, os índices de seca não são suficientes e é necessário recorrer a técnicas geostatísticas e/ou de estatística multivariada. Em Portugal já existem alguns estudos que abordam este tema, estudando não apenas as secas (Paulo, 2010, Santos et al., 2010 e Costa, 2011) mas também, por exemplo, a precipitação, (Corte-Real et al., 1998; Antunes et al., 2006; Durão et al., 2009 e de Lima et al., 2010).

No presente trabalho, pretende-se estudar a variabilidade espacial da precipitação e das secas em Portugal Continental. Para a caracterização das secas foram utilizados o SPI nas escalas de 3 e 12 meses, o PDSI e o MedPDSI. Para identificar diferentes sub-regiões caracterizadas por diferentes padrões de precipitação e variabilidade de secas, a Análise de

Componentes Principais com rotação Varimax foi aplicada para conjuntos de variáveis de precipitação e séries temporais de índices de seca.

No capítulo 2 efectua-se uma breve revisão sobre o fenómeno da escassez de água, das secas, dos índices de seca, pormenorizando os índices considerados neste trabalho. Caracteriza-se a situação de Portugal, o seu clima, a ocorrência de secas em Portugal e os trabalhos desenvolvidos nesta área nos últimos anos.

No capítulo 3, os dados utilizados, metodologia, principais resultados e a sua discussão são apresentados em formato de submissão a revista científica.

O capítulo 4 engloba as principais conclusões resultantes do trabalho e as perspectivas futuras de trabalho.

No final do trabalho, em anexo, apresentam-se com mais detalhe os resultados da Análise de Componentes Principais efectuada para os diversos índices de seca utilizados e variáveis de precipitação, bem como da Análise de Clusters. São ainda apresentados os resultados referentes a uma análise espacial do SPI-9 meses não mencionada no artigo científico.

## 2 Revisão Bibliográfica

A água é essencial para o desenvolvimento socioeconómico e para a manutenção dos ecossistemas. Com o aumento da população e as crescentes necessidades de água para as diversas actividades sociais e económicas, a pressão sobre a água (superficial e subterrânea) tem vindo a intensificar-se, originando sérios problemas de gestão dos recursos com impactos na qualidade de vida da população e no desenvolvimento económico das regiões afectadas, exercendo igualmente uma enorme pressão no ambiente (UN-Water, 2006).

Os recursos hídricos são finitos, apenas 3% da totalidade água é doce e só menos de 1% está disponível. O avanço tecnológico conseguido no século passado permitiu um maior aproveitamento dos recursos naturais para fins produtivos, mas comprometeu a sustentabilidade dos ecossistemas. No caso particular da água, o desenvolvimento de grandes barragens, o aumento continuado da população, bem como na indústria e nas regiões urbanas têm tido consequências preocupantes e muitas vezes irreversíveis nos recursos hídricos através da sobrexploração de rios e aquíferos em todo o mundo (Lloyd's, 2010).

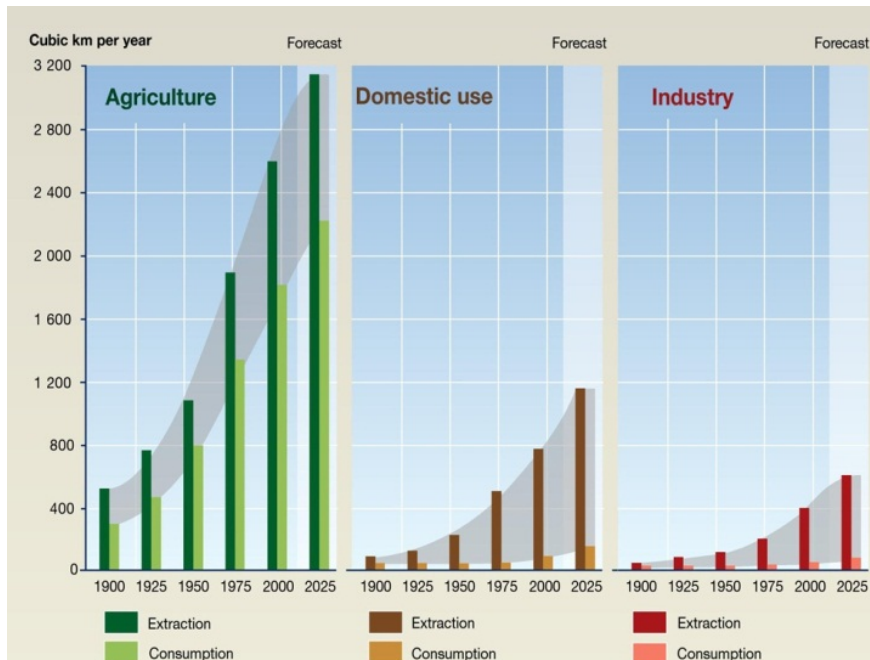


Figura 2.1. Tendência para o uso de água no Mundo, por sector. A cinzento está representada a diferença entre o consumo e a extracção de água (Fonte: UNEP, 2008a).

Do total da água disponível, 70% é destinada à agricultura, podendo chegar aos 95% nos países em desenvolvimento. As utilizações da água para uso doméstico e industrial partilham os restantes 30% (figura 2.1). Porém, esta procura continua a crescer, pois prevê-se que a população mundial atinja os 8 biliões em 2030 e que a necessidade de bens alimentares cresça 55% (UN-Water, 2007a).

Ao mesmo tempo, as necessidades de água para o saneamento básico, produção de electricidade e para a indústria vão aumentar graças ao desenvolvimento dos centros urbanos.

## **2.1 Escassez de água**

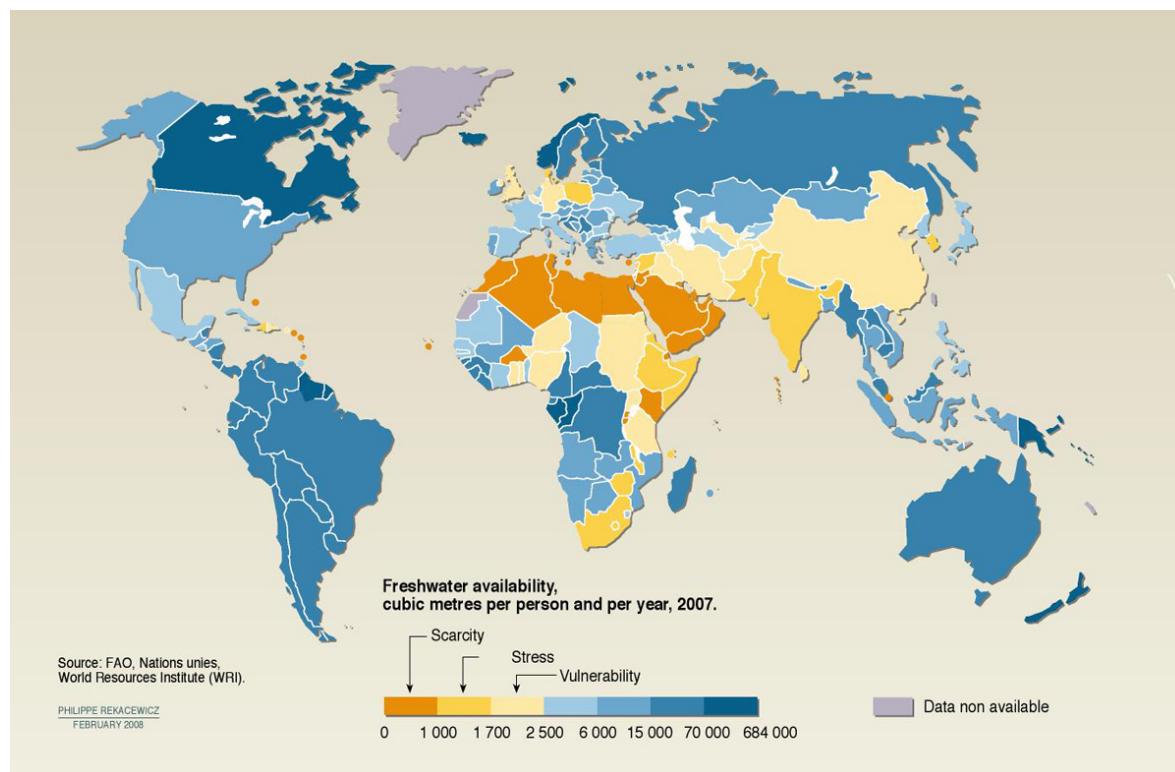
A escassez de água é um conceito relativo e depende da relação entre a oferta e a procura e pode ocorrer quando a água disponível deixa de ser suficiente para satisfazer a totalidade dos utilizadores; diz-se que se está na presença de escassez quando se atinge o limiar de 1000 m<sup>3</sup> de água por pessoa e por ano (Pereira et al., 2009). Se toda a água potável fosse dividida equitativamente por toda a população mundial, haveria entre 5000 a 6000 m<sup>3</sup> de água disponível anualmente para cada indivíduo (Un-Water, 2007b). Contudo, tal não se verifica uma vez que, tanto a distribuição da população como a da água, não são homogéneas. As situações mais alarmantes de escassez de água ocorrem em regiões densamente povoadas e com pouca água de qualidade disponível.

Numa cidade industrializada estima-se que se gasta, em média, 50 L de água em descargas de autoclismo por dia e por pessoa. Por outro lado, cerca de 1/6 da população não tem acesso a 25-50 L de água por dia, limiar definido pelas Nações Unidas como a quantidade mínima para satisfazer as necessidades básicas de uma pessoa. É o caso da Jordânia e de outros países do Médio Oriente, cuja população vive com menos de 200 m<sup>3</sup> por ano (Un-Water, 2007a).

A avaliação da escassez deve ser efectuada a uma escala local ou regional em detrimento de escalas maiores, como as nacionais, já que é comum haver regiões com abundância e outras com grandes deficiência de água no mesmo país. Estas situações são mais evidentes em países grandes como o Brasil ou a China, mas também em Portugal.

Cerca 1,2 biliões de pessoas vivem em regiões de escassez física de água e prevê-se que esse número continue a aumentar (WHO, 2009). Outros 1,6 biliões sofrem de escassez económica de água, por não possuírem as infra-estruturas para a extracção e utilização de água de aquíferos e águas superficiais (UNEP, 2008b).

Como podemos observar pela figura 2.2, em Portugal não se pode dizer que exista escassez de água, embora a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação possa originar pontualmente problemas de escassez, em particular nas regiões do Alentejo.



**Figura 2.2. Disponibilidade de água no planeta em m<sup>3</sup> por pessoa e por ano (Fonte:UNEP, 2008b).**

A escassez de água tem várias causas, podendo na sua maioria ser remediada ou, de certa forma, aliviada. Todavia, os problemas da escassez de água são mais acentuados em regiões áridas ou semi-áridas, com uma elevada variabilidade climática e com grande susceptibilidade para a ocorrência de secas principalmente se combinados com forte crescimento populacional e económico.

## 2.2 Escassez e regimes xéricos

As causas para a escassez da água são diversas e a sua correcta compreensão permite uma melhor gestão dos recursos em situações de necessidade. Os fenómenos responsáveis pela escassez de água podem ser agrupados, como no quadro 2.1, em quatro tipos de regimes xéricos (Pereira et al., 2009): naturais ou antrópicos, permanentes ou temporários.

Quadro 2.1. Regimes xéricos.

	Natural	Provocado pelo Homem
<b>Permanente</b>	Aridez	Desertificação
<b>Temporário</b>	Seca	Penúria de água

A aridez é um fenómeno permanente e natural de uma região que se caracteriza por precipitações médias anuais baixas e agravadas por uma elevada variabilidade espacial e temporal na sua ocorrência, o que tem implicações significativas na manutenção dos ecossistemas e limita qualquer actividade do homem. A aridez é, normalmente, estudada com base em modelos climatológicos como o índice de humidade de Thornthwaite ou pela utilização de um índice de aridez que é obtido através da razão precipitação/evapotranspiração.

As secas, por outro lado, são naturais e temporárias e consistem em precipitação persistentemente abaixo da média, com frequência, duração e severidade incerta, sendo a sua ocorrência muito difícil de prever, o que resulta na diminuição temporária da disponibilidade de água para as suas diversas utilizações. É o cariz de incerteza associado às secas que torna este fenómeno extraordinariamente complicado de gerir.

A desertificação é permanente e induzida pelo homem, desenvolve-se ao longo dos anos, atravessando várias gerações, devendo-se o desequilíbrio na disponibilidade de água empobrecimento da terra (como por exemplo através da erosão e salinização dos solos), por uso insustentável, sobrexploração de águas subterrâneas, aumento da frequência de cheias rápidas, degradação de sistemas ripícolas e da capacidade de sustentação dos ecossistemas em geral. A desertificação tem mais expressividade em climas áridos, semi-áridos e sub-húmidos, sendo agravada pela ocorrência de secas.

Esta definição de desertificação não é consensual, visto existirem outras definições, como a da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD): “a degradação da terra em zonas áridas, semi-áridas e sub-húmidas, resultando de vários factores incluindo a variação climática e as actividades humanas” (Holtz, 2003).

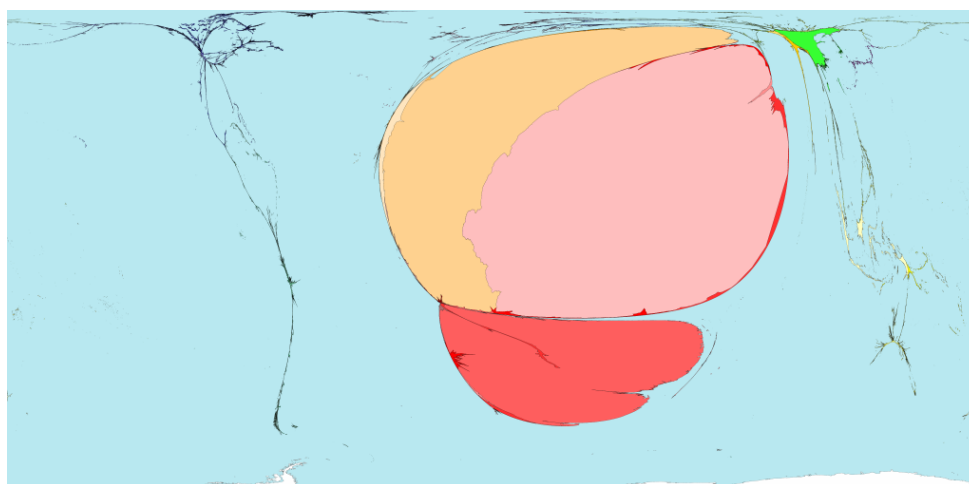
A escassez não está apenas relacionada com a quantidade de água disponível para satisfazer a procura mas, também, com a qualidade desta que, por vezes, deixa de poder ser utilizada para os seus usos mais nobres, como água para consumos domésticos. A

penúria de água é de origem antropogénica, embora temporária, e consiste na sobreexploração e degradação da qualidade dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, uso do solo incorrecto e alterações na capacidade de suporte dos ecossistemas. Estes conceitos vêm referidos em Pereira et al., 2009 e são aí bem desenvolvidos.

### 2.3 Secas

A seca é um fenómeno climático comum a todas as regiões do mundo e é reconhecida como desastre ambiental, de frequência, duração e intensidade incerta e que está relacionada, sobretudo, com a redução da quantidade de precipitação num dado período de tempo, como uma estação do ano ou até mesmo vários anos. A gravidade das secas é medida através da sua duração, intensidade, magnitude ou extensão espacial e os seus impactos fazem-se sentir em praticamente todos os sectores da sociedade e podem ter consequências graves no que diz respeito ao desenvolvimento económico da região ou impactos significativos nos ecossistemas (Pereira, 2010).

As secas têm efeitos particularmente devastadores para a sociedade em regiões vulneráveis e podem agravar o problema da fome, levar à deslocação em massa de populações, gerando graves problemas humanitários. Isto verifica-se de forma alarmante e amiúde em África e, como é possível observar pela figura 2.3, cuja dimensão dos continentes é obtida pela proporção de mortes relacionadas com secas, 98% das vítimas provocadas por este desastre, desde 1975 a 2000, concentram-se no Continente africano, mais concretamente na Etiópia, Sudão e Moçambique (Worldmapper, 2006).



**Figura 2.3. Mortes relacionadas com as secas. O tamanho relativo dos Continentes mostra a proporção de vítimas mortais em cada Continente (Fonte: Worldmapper, 2006).**

A seca, como atrai a atenção de uma multiplicidade de áreas (agricultura, ambiente, meteorologia, hidrologia, geologia), não tem uma definição consensual, pois depende do ponto de vista do utilizador ou gestor da água (Pereira, 2010; Mishra and Singh, 2010). Yevjevich (1967) garante que um dos grandes entraves ao estudo das secas é a falta de consenso no que diz respeito às definições de seca. Compilações das definições de seca podem encontrar-se em Dracup et al. (1980), e Tate and Gustard (2000).

A Organização Mundial da Meteorologia (WMO) define seca como um evento normal e recorrente do clima, embora erroneamente considerado raro e aleatório (Monacelliet al., 2005) e distingue-se da aridez, em que as precipitações muito baixas são característica do clima da região. A seca deve ser relativa a condições normais do balanço entre a precipitação e a evapotranspiração numa determinada área. Tem também que ser relativa ao tempo, i.e, a variação intra-anual, atrasos no começo das estações chuvosas e, com particular interesse na agricultura, ao desfasamento entre a ocorrência das chuvas e os principais estágios de crescimento das culturas. Passando de uma definição conceptual para uma operacional, a WMO distingue cinco tipos de seca: meteorológica, agrícola, hidrológica, hidrológica respeitante ao uso do solo e socioeconómica, muito semelhante aos quatro tipos de seca indicados por Wilhite and Glantz (1987) que não inclui a seca hidrológica referente ao uso do solo.

A esta distinção de tipos de seca está associada uma evolução temporal dos impactos, que se evidencia, primeiramente, pelas deficiências na precipitação, denominada seca meteorológica. De seguida, faz-se sentir a seca agrícola (através da perda de humidade no solo) e a seca hidrológica e hidrológica respeitante ao uso do solo nota-se na diminuição de caudais superficiais e níveis de água subterrânea. Quando começa a haver escassez de água para as actividades de consumo, estamos perante uma seca socioeconómica.

Os efeitos da seca vão-se fazer sentir primeiro na agricultura, visto haver menos água disponível no solo, só posteriormente é que a seca hidrológica se faz sentir, já que a diminuição na infiltração, percolação e escoamento vão ocorrendo ao longo do tempo, numa redução da recarga dos aquíferos e dos caudais das águas superficiais.

Todas as limitações vão ter um impacto sobre as actividades socioeconómicas, começando pela agricultura, passando pela indústria e pela redução das disponibilidades de água para o consumo doméstico.

Estas categorias podem ser analisadas mais detalhadamente:

- A seca meteorológica é caracterizada com base na duração do período seco e o grau de secura (tendo em conta as condições médias ou normais). Este tipo de seca

tem que ser encarado à escala da região, uma vez que há uma elevada variabilidade espacial da precipitação que é resultante das condições atmosféricas.

- A seca agrícola é fundamentalmente causada por *deficits* de precipitação e que tem impactos no desenvolvimento das culturas agrícolas ou silvícolas. Obviamente, este tipo de seca depende muito do tipo de cultura considerada, isto é, das características biológicas da mesma e da fase de crescimento em que esta se encontra. Esta categoria é um tanto ambígua isto porque a escassez de água para a agricultura não é, apenas, fruto de precipitações anómalas; deve-se também à falta de gestão adequada na região, quer seja por um acréscimo insustentável da área agrícola, quer seja pela adopção de culturas mais exigentes, ou simplesmente pelo desfasamento entre o regime de precipitação e os estágios de crescimento das culturas.
- A seca hidrológica está associada aos efeitos provocados pelos períodos de escassez de precipitação na diminuição de caudais, reservatórios de água subterrânea e no armazenamento em lagos, por exemplo. Este tipo de seca tem que ser encarado ao nível da bacia hidrográfica ou do curso de água.
- Alterações ao uso do solo, como a construção de barragens, desflorestação, e qualquer tipo de degradação do solo, tem consequências significativas ao nível da bacia hidrográfica que podem acentuar problemas de escassez.
- A seca socioeconómica surge por último, quando a falta de água começa a afectar a população em geral, e está mais relacionada com o conceito económico da oferta e da procura e menos com condições climáticas desfavoráveis. Sendo ou não um facto a existência de alterações climáticas, este é um tipo de seca que tem vindo a aumentar devido às crescentes necessidades de água para as actividades humanas e por políticas de gestão que induzem uma progressiva degradação dos recursos hídricos.

Tate and Gustard (2000) exibem uma classificação alternativa à já apresentada, considerando cinco classes de seca: a climática, agro-meteorológica, fluvial, subterrânea e operacional. As diferenças mais significativas entre as duas classificações está na divisão da seca hidrológica (Wilhite and Glantz (1985)) em seca fluvial e seca subterrânea com diminuição, respectivamente, no escoamento e na recarga dos aquíferos. A seca operacional é análoga à seca socioeconómica na qual a escassez de precipitação se conjuga com questões de gestão da água e com a incapacidade de suportar todas as necessidades do homem.

Com o objectivo de criar uma definição consistente, robusta e transversal a diversas áreas de estudo, Pereira et al., (2009) define seca como um desequilíbrio natural e temporário na disponibilidade de água que consiste em precipitação persistentemente abaixo da média e com frequência, duração e severidade incertas, cuja ocorrência é difícil de prever e que provoca uma diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e uma redução na capacidade de suporte dos ecossistemas.

## 2.4 Índices de Seca

Os índices de seca são uma ferramenta fundamental para compreender os efeitos das secas e as suas características (intensidade, duração, severidade e extensão espacial) e foram construídos na tentativa de padronizar as características das secas, para que seja possível comparar secas em diferentes regiões ou anos diferentes. Diversos índices têm sido desenvolvidos para a quantificação das secas, que utilizando diferentes variáveis como a precipitação, escoamento, temperatura, evaporação, humidade no solo, etc. De entre os índices de seca refiram-se o Palmer Drought Severity Index (PDSI; Palmer, 1965), o CMI, Crop Moisture Index (Palmer, 1968), o Rainfall Anomaly Index (RAI; Van Rooy, 1965), o SWSI, Surface Water Supply Index (Shafer and Dezman, 1982) o método dos decis (Gibbs and Maher, 1967) o Standardized Precipitation Index (SPI; Mckee et al., 1993, 1995), o Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI; Vicente-Serrano, et al., 2010) e o MedPDSI (Pereira et al., 2007 e Rosa et al., 2010a).

A teoria dos chorrilhos (*runs theory*) proposta por Yevjevich (1967) pode ser aplicada aos índices de seca e permite identificar os diferentes parâmetros da seca (duração, magnitude, intensidade; figura 2.4). Um chorrilho é definido como a porção de uma série temporal de um índice de seca na qual os valores estão abaixo ou acima de um determinado limiar. A duração da seca expressa em anos, meses ou semanas, é dada pelo tempo em que a série está abaixo do limiar (de  $t_i$  a  $t_e$ ); a magnitude de uma seca é dada pela área entre o início e o final da seca e a intensidade é calculada a partir da razão entre magnitude e duração e tem dimensões  $T^{-1}$ .

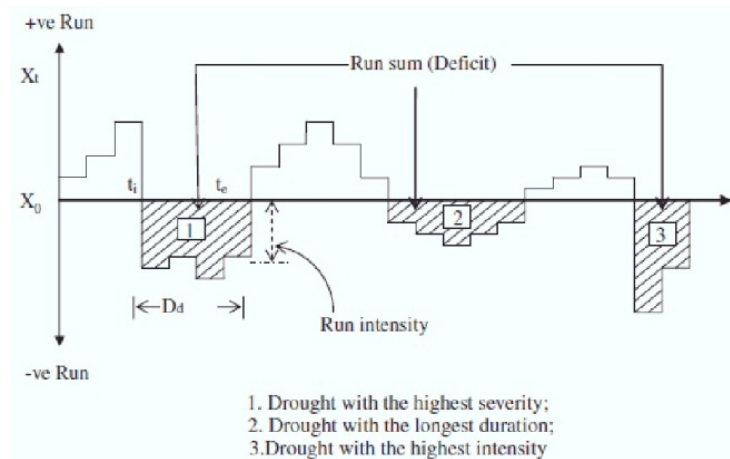


Figura 2.4. Características das secas utilizando a teoria dos chorrilhos (Fonte: Mishra and Singh, 2010).

### 2.4.1 SPI

O SPI (índice normalizado de precipitação) criado por McKee et al. (1993, 1995) tem como finalidade a identificação da seca e da sua severidade, em diferentes escalas temporais. Este índice usa a distribuição de probabilidades da precipitação para calcular o desvio relativamente às condições 'normais' de precipitação.

O SPI pode ser calculado para diferentes escalas temporais (por exemplo: 3, 6, 9, 12 ou 24 meses) e esta escolha está dependente do que se pretende avaliar. Quanto maior a escala temporal, maior é o tempo de resposta a mudanças de precipitação. Escala mais curta, como 3 meses, é provavelmente mais indicada quando se pretende avaliar a seca agrícola, pois um déficit de água faz-se sentir a curto prazo sobre as culturas; porém, escalas maiores como 12 ou 24 meses, são mais indicadas para avaliar a diminuição de caudais de águas superficiais.

O SPI é um índice normalizado, visto que é calculado a partir do desvio entre a precipitação observada e a média; em unidades de desvio padrão, podendo, assim, ser alvo de comparação em diferentes períodos e regiões. A categorização do SPI apresenta-se no Quadro 2.2.

De acordo com os autores, a seca só ocorre quando o SPI é continuamente negativo e atinge uma severidade  $< -1$  e termina quando o SPI volta a ficar positivo. O início da seca só pode ser confirmado quando o SPI for  $< -1$ , isto é, apenas quando o SPI atinge este valor, vindo de uma sucessão de valores sucessivamente negativos, é que este período pode ser considerado como seco.

Quadro 2.2. Classificação dos valores de SPI e tempo na categoria.

SPI	Categoria de seca	Tempo na categoria
0 a -0.99	Seca ligeira	34.1%
-1.00 a -1.49	Seca moderada	9.2%
-1.50 a -1.99	Seca severa	4.4%
≤ -2.00	Seca extrema	2.3%
		50.0%

O índice tem gerado grande consenso na comunidade científica, visto apresentar grandes vantagens: necessita apenas de dados de precipitação, é relativamente simples de calcular, pode ser calculado para diferentes escalas temporais e, como é um índice normalizado, é possível comparar secas em regiões e anos diferentes.

#### Processo de cálculo do SPI:

Começa-se por acumular as precipitações ( $X_{i,j}^k$ ) de cada mês  $j$  ( $j= 1, \dots, 12$ ) para a escala de tempo  $k$  pretendida, num dado ano  $i$  ( $i=1, \dots, n$ ), i.e., a acumulação de precipitação para o mês  $j$  é conseguida pela soma da precipitação do mês  $j$  com a dos  $k-1$  meses anteriores. Segue-se o ajustamento de uma função de distribuição  $F(x)$  às séries obtidas. A função Gama a 2 parâmetros (um caso particular da Pearson III) tem sido a mais utilizada. No terceiro passo estima-se a probabilidade de não excedência dos valores observados de precipitação acumulada. Por último, o SPI é calculado através da transformação dessas probabilidades em valores da variável normal reduzida. Os valores de SPI são obtidos da seguinte forma:

$$SPI_{i,j}^k = \frac{X_{i,j}^k - \hat{\mu}_j^k}{\hat{\sigma}_j^k},$$

Em que:

$\hat{\mu}_j^k$  é a média dos valores totais observados para o mês  $j$  para a escala  $k$ ;

$\hat{\sigma}_j^k$  corresponde ao desvio padrão dos valores totais observados no mês  $j$  para a escala de tempo  $k$ .

O processo de cálculo mais detalhado do SPI pode ser consultado em Paulo et al., 2003.

## 2.4.2 PDSI

O PDSI (Palmer, 1965) é um índice de seca meteorológico construído inicialmente para os EUA, para caracterizar e avaliar a severidade das secas, no qual os desvios entre a precipitação observada e a precipitação “normal” são transformados em índices de anomalia de humidade e depois no índice Palmer, que são depois classificados com base na severidade, tal como no SPI.

Este índice baseia-se na precipitação combinada com a evapotranspiração potencial climática, usando para este fim séries de temperatura máxima e mínima. Originalmente, a evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Thornthwaite. É possível aplicar o método de Penman-Monteith, mas utilizando a evapotranspiração de referência afastamo-nos do conceito “climático” deste índice.

Os dados mensais de precipitação e de evapotranspiração potencial são utilizados para calcular o balanço hídrico do solo. O solo é dividido em duas camadas, uma à superfície com uma capacidade utilizável (TAW) de 25 mm e outra inferior cuja capacidade utilizável do solo vai depender do tipo de solo de cada região. Assume-se que a evapotranspiração ocorre à taxa potencial ( $ETP_i$ ) enquanto houver água na camada superficial e só depois se começa a utilizar a água da camada inferior. Para o cálculo do balanço são considerados mais três termos potenciais, a recarga potencial da humidade do solo ( $PR_i$ ), a perda potencial por percolação ( $PL_i$ ) e o escoamento potencial ( $PRO_i$ ) no tempo  $i$ .

A determinação do PDSI para o período baseia-se no índice de anomalia de humidade ( $z_i$ ) que se obtém pela seguinte expressão:

$$z_i = k_j d_i$$

onde  $d_i$  é o desvio entre a precipitação actual ( $P_i$ ) e a precipitação dita normal para o clima da região ( $\hat{P}_i$ ) no tempo  $i$  e  $k_j$  é a característica climática do mês.

$\hat{P}_i$  é definida por Palmer como precipitação CAFEC (Climatically Appropriate For Existing Conditions) e é dada por:

$$\hat{P}_i = \alpha_j ETP_i + \beta_j + PR_i + \gamma_j PRO_i - \delta_j PL_i$$

sendo  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  coeficientes climáticos, razões entre as médias dos valores observados e dos respectivos potenciais, que são calculados para cada mês do ano:

$$\alpha_j = \overline{ET}_j / \overline{ETP}_j$$

$$\beta_j = \bar{R}_j / \overline{PR}_j$$

$$\gamma_j = \overline{RO}_j / \overline{PRO}_j$$

$$\delta_j = \bar{L}_j / \overline{PL}_j$$

De forma a chegar-se ao índice de Palmer no tempo  $i$ , é necessário calcular três índices:

$X_1$  - Indica a severidade de um evento húmido que poderá fixar-se

$X_2$  - Severidade de uma eventual seca

$X_3$  - Severidade do evento em curso

Calculam-se pela seguinte equação:

$$X_i = 0.897X_{i-1} + z_i/3$$

O PDSI é obtido, por fim, a partir destes três índices intermédios por via de operações complexas e que podem ser consultadas em Palmer, 1965.

Como no SPI, a seca começa quando o PDSI atinge um valor  $<-1$  e termina quando voltar a passar esse limiar. O PDSI também pode ser usado para analisar períodos de humidade anormal elevados (quadro 2.3).

**Quadro 2.3. Categorias do índice de Palmer PDSI.**

<b>PDSI</b>	<b>Categorias do Índice de Palmer</b>
$\geq 4.00$	Extremamente húmida
3.00 a 3.99	Muito húmida
2.00 a 2.99	Moderadamente húmida
1.00 a 1.99	Ligeiramente húmida
0.50 a 0.99	Humidade incipiente
0.49 a -0.49	Quase normal
-0.50 a -0.99	Seca incipiente
-1.00 a -1.99	Seca ligeira
-2.00 a -2.99	Seca moderada
-3.00 a -3.99	Seca severa
$\leq -4.00$	Seca extrema

O PDSI tem limitações reconhecidas: a evapotranspiração potencial é obtida pelo método de Thornthwaite, o modelo para o cálculo do balanço da água no solo é bastante rudimentar e

empírico, como acontece no cálculo do escoamento e não considera o tipo de vegetação da região (Pereira et al., 2010).

### 2.4.3 MedPDSI

O PDSI modificado surgiu da necessidade de adaptar o índice original de Palmer às condições climáticas dos países mediterrâneos. Para tal, foram feitas alterações no balanço hídrico, através da utilização do modelo ISAREG (Teixeira and Pereira, 1992) para calcular o balanço hídrico no solo em detrimento do modelo de Thornthwaite. A evapotranspiração real foi calculada usando o olival intensivo de sequeiro como cultura de referência, visto ser uma cultura representativa do clima e bem estudada no que diz respeito a evapotranspiração, tendo em conta também a evaporação do solo, através da aplicação da metodologia do  $K_c$  duais (Allen et al., 2005).

Para além destas modificações, também foi alterado o escoamento potencial do período  $i$  ( $PRO$ ), que entra no cálculo do balanço hidrológico e é dado pela diferença entre a precipitação potencial (originalmente, Palmer considerou a precipitação potencial igual à água total disponível no solo, apesar de considerar que esta relação não fosse a mais indicada) e a recarga potencial da humidade do solo no período  $i$ . Na modificação do índice alterou-se a relação entre a precipitação potencial e a TAW de modo a que a primeira seja o triplo da precipitação real, nesse mês. Apesar de continuar a ser relativamente arbitrária, deixa de haver uma relação entre a precipitação potencial e a TAW (Pereira et al., 2010).

Por último, a característica climática ( $K_j$ ), usada para calcular o índice de anomalia de humidade, e que é um factor de ponderação que permite que o PDSI possa ser comparado em diferentes áreas e em diferentes meses. A alteração consistiu na calibração da constante empírica da equação do factor ( $K_j$ ).

A modificação do PDSI resultou numa melhor caracterização das condições climáticas para o clima mediterrâneo e mostra que a quantidade de água no solo no fim de cada mês é superior no PDSI modificado, comparativamente ao original. Também a depleção de água no solo vai ocorrer mais tarde que no método original, e observa-se uma menor variabilidade do índice de anomalia de humidade de região para região (Pereira et al., 2007; Pereira and Rosa, 2010; Rosa et al., 2010a).

## 2.5 Em Portugal

### 2.5.1 Clima, Precipitação e Evapotranspiração

O clima pode ser entendido segundo classificações climáticas, tais como a de Köppen (1923) ou a de Thornthwaite (1931). A classificação de Köppen utiliza dados mensais de precipitação e temperaturas médias e permite dividir Portugal em 3 regiões (figura 2.5). Portugal tem na sua grande maioria um clima temperado (subtropical) húmido, com Verão longo e quente (Csa) nas regiões de Trás-os-Montes e Alentejo ou Verão longo e fresco no Norte e litoral (Csb). Uma terceira região, embora pequena, é identificada no Alentejo como tendo um clima seco, semi-árido, frio e seco (Bsk).

A precipitação em Portugal é caracterizada por uma grande variabilidade espacial e temporal e é influenciada pelas condições gerais da atmosfera, bem como pela assimetria orográfica do território. Isto significa que existe um decréscimo da precipitação de Norte para Sul e do litoral para o interior do país. Como se pode observar na figura 2.6a (precipitação média anual com dados de 1960 a 1991), a precipitação é maior na região do Minho (>3000 mm) e mais baixa no Baixo Alentejo interior (<400 mm), e, como é típico do clima Mediterrânico, a grande maioria da precipitação ocorre nos meses de Inverno, resultando numa elevada variabilidade intra-anual da precipitação. A evapotranspiração potencial, calculada pelo método de Penman-Monteith (Figura 2.6b para o período de 1941 a 1991), tem uma variação oposta com crescimento de Norte (0-950 mm) para Sul (>1400 mm).

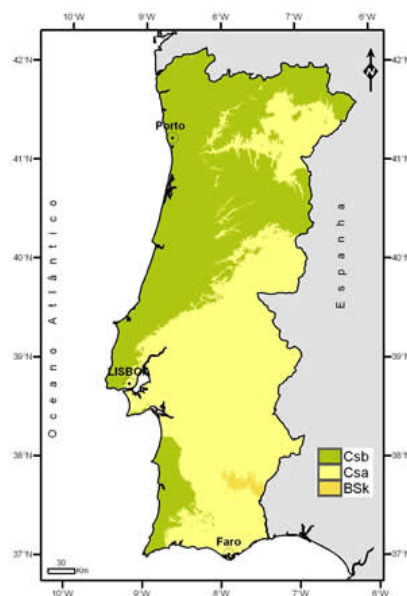


Figura 2.5. Classificação climática de Köppen para Portugal Continental (Fonte: IM, 2011).

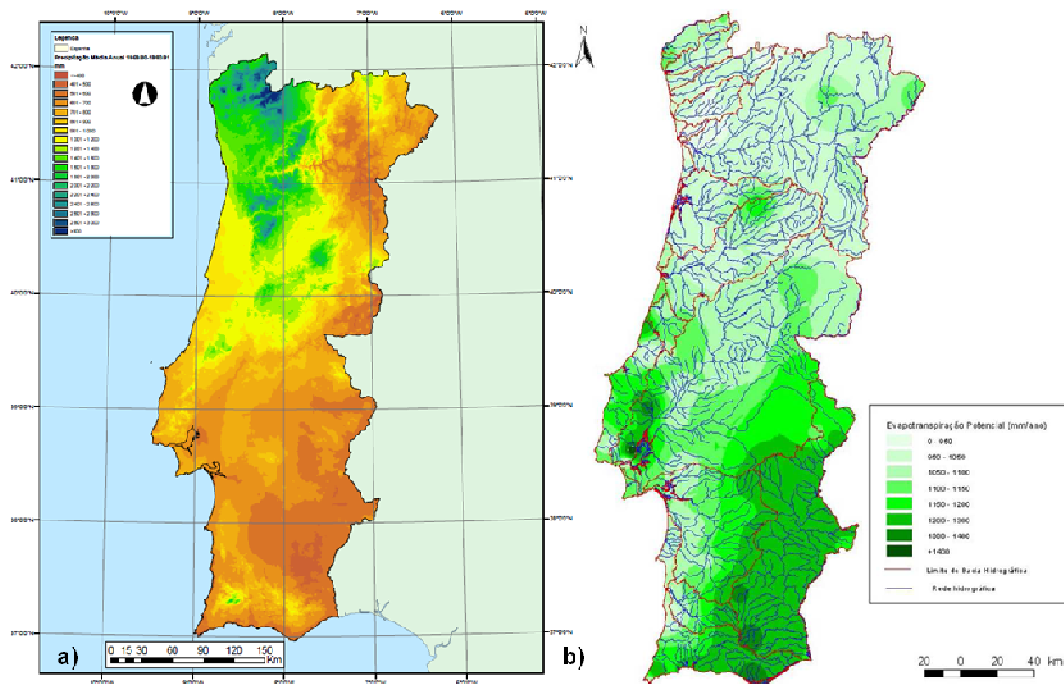
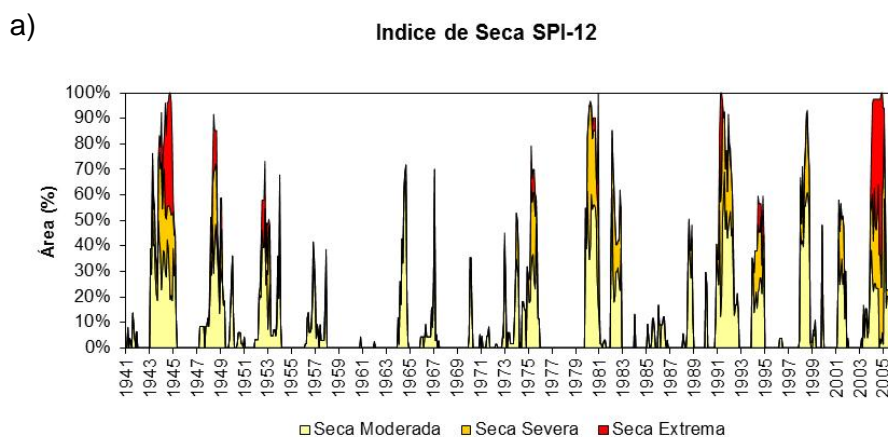
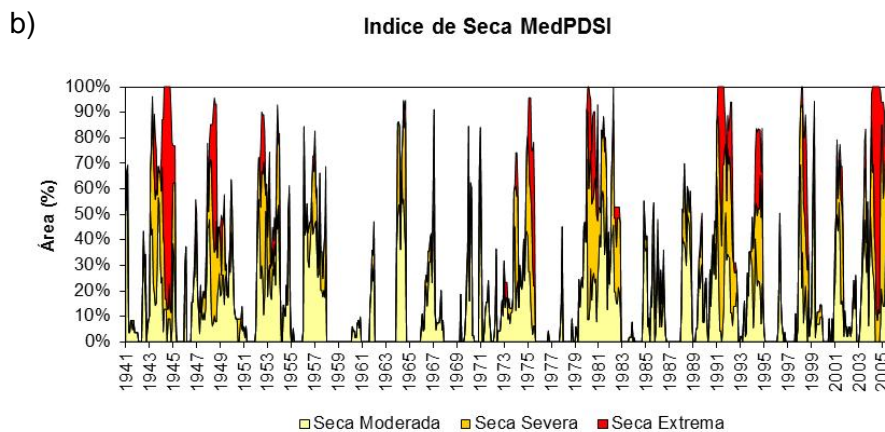


Figura 2.6. Precipitação média anual com valores mais baixos (<400 mm) no interior Alentejano e mais elevados no Minho (> 3000 mm) (Fonte: SNIRH, 2011). b) A Evapotranspiração potencial em mm/ano é mais elevada no Interior (< 1400 mm) e mais baixa no Noroeste do País (0-950mm) (Fonte: INAG, 2001).

## 2.5.2 Secas em Portugal

Em Portugal, as secas são um fenómeno frequente que afectam principalmente as regiões do Alentejo e os anos de 43/46, 65, 76, 80/81, 91/92, 94/95, 98/99 e 2004 a 2006 foram identificados como os períodos de seca com maior severidade e com grande extensão espacial, tal como se pode observar pela figura 2.7, e com enormes implicações, sobretudo no sector agrícola. Actualmente as secas são monitorizadas pelo Instituto de Meteorologia que usa o PDSI para avaliar a evolução mensal das secas em Portugal Continental.





**Figura 2.7. Percentagem da área de Portugal Continental afectada por seca moderada, severa e extrema usando o SPI-12 (a) e o MedPDSI (b) (Fonte: Paulo et al., 2010).**

A figura 2.7 mostra os anos de seca mais severos e a percentagem de área afectada. As secas mais severas e com maior abrangência espacial correspondem aos períodos de 1943-1945, 1949 e 2004-2006. Se se considerar a figura referente ao MedPDSI, é possível observar uma maior identificação de secas extremas em 1976, 1981 (com uma duração considerável) e 1993 e 1995 (Paulo et al., 2010).

As secas em Portugal têm sido frequentemente estudadas por intermédio dos índices de seca: Gonçalves (1982) usou o PDSI para estudar vários períodos de seca generalizada em todo o território; Pimenta e Cristo, em 1998, utilizaram o índice de Palmer e identificam os anos 1944, 1945, 1955, 1981 e 1992 como anos de seca generalizada. O SPI também tem sido utilizado para a tentativa de previsão de secas (Paulo e Pereira, 2007, 2008; Moreira et al, 2008) e para o estudo das secas no Alentejo (Paulo et al., 2003; Moreira et al, 2006; Paulo e Pereira, 2006).

### **2.5.2.1 Variabilidade espacial das Secas em Portugal**

A variabilidade espacial das secas é uma característica fundamental para a determinação da importância das mesmas.

A análise regional das secas implica a utilização de métodos estatísticos que possibilitam extrapolar os dados, pontuais, das estações meteorológicas e/ou udométricas. A Análise de Componentes Principais é uma ferramenta de estatística multivariada que tem sido utilizada com o objectivo de estudar a regionalização das secas. O estudo da análise espacial das secas na Península Ibérica (Vicente-Serrano, 2006) concluiu não haver regiões homogêneas com padrões de seca semelhantes, úteis para uma gestão eficaz dos recursos hídricos na eventualidade de uma seca. A nível nacional, Santos et al., (2010) utilizaram

novamente a PCA, conjugada com uma Análise de Clusters aplicada a séries de SPI para várias escalas temporais, identificando três regiões distintas, uma a Norte, outra no Centro e uma a Sul. Numa escala regional, Paulo (2010) avaliou a homogeneidade regional do clima no Alentejo para caracterizar as secas, usando a PCA para séries de SPI e precipitação, concluindo não existir diferenças relevantes no Alentejo no que diz respeito à variabilidade espacial das secas.

### **3 Materiais e Métodos. Resultados e Discussão.**

Os capítulos referentes aos materiais e métodos, tal como os resultados conseguidos neste estudo e a sua discussão, são apresentados nas páginas seguintes em formato de artigo, já submetido à revista científica Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES).



# Spatial and temporal variability of precipitation and drought in Portugal

D. S. Martins<sup>1</sup>, T. Raziei<sup>1,2</sup>, A. A. Paulo<sup>1,3</sup>, and L. S. Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEER-Biosystems Engineering, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Escola Superior Agrária de Santarém, Portugal

Correspondence to: L. S. Pereira (lspereira@isa.utl.pt)

Received: 2 January 2012 – Revised: 8 March 2012 – Accepted: 20 March 2012 – Published:

**Abstract.** The spatial variability of precipitation and drought are investigated for Portugal using monthly precipitation from 74 stations and minimum and maximum temperature from 27 stations, covering the common period of 1941–2006. Seasonal precipitation and the corresponding percentages in the year, as well as the precipitation concentration index (PCI), was computed for all 74 stations and then used as an input matrix for an R-mode principal component analysis to identify the precipitation patterns. The standardized precipitation index at 3 and 12 month time scales were computed for all stations, whereas the Palmer Drought Severity Index (PDSI) and the modified PDSI for Mediterranean conditions (MedPDSI) were computed for the stations with temperature data. The spatial patterns of drought over Portugal were identified by applying the S-mode principal component analysis coupled with varimax rotation to the drought indices matrices. The result revealed two distinct sub-regions in the country relative to both precipitation regimes and drought variability. The analysis of time variability of the PC scores of all drought indices allowed verifying that there is no linear trend indicating drought aggravation or decrease. In addition, the analysis shows that results for SPI-3, SPI-12, PDSI and MedPDSI are coherent among them.

or extremely hard to predict occurrences, resulting in diminished water resources availability and reduced carrying capacity of the ecosystems (Pereira et al., 2009).

Various drought indices have been developed with the objective of showing that a drought is in progress or has occurred, as well as to identify the intensity, duration, severity, magnitude and spatial variability of droughts (Mishra and Singh, 2010). Most relevant indices include the Palmer Drought Severity Index, PDSI (Palmer, 1965) and the Standardized Precipitation Index, SPI (McKee et al., 1993, 1995), which are considered herein together with a modification of the PDSI for Mediterranean conditions, the MedPDSI (Pereira et al., 2007; Pereira and Rosa, 2010). The SPI is a normalized index for calculating the deviation from the precipitation normal, allowing identification and characterization of droughts at different time scales. Shorter time scales like 3 months seem to be adequate for the identification of agricultural droughts, while longer time scales, e.g. 12 months, better describe hydrological and water resources droughts (Mishra and Singh, 2010; Paulo and Pereira, 2006). The PDSI, unlike the SPI, uses precipitation associated with evapotranspiration and a soil water balance is performed. It was created to characterize and evaluate meteorological droughts by measuring the deviations between the observed and the expected precipitation, which are first transformed into an anomaly moisture index and then into a drought index, which is classified in terms of severity (Palmer, 1965). The MedPDSI is a modification of the original PDSI to adapt it to the Mediterranean conditions. It mainly consists of (a) assuming a rainfed olive orchard as a drought reference crop, (b) replacing the potential climatic evapotranspiration (ET) computed with the Thornthwaite method by the reference ET computed with the FAO-PM method (Allen

## 1 Introduction

In Portugal, precipitation mainly occurs in the autumn and winter months and is characterized by a large time variability. Droughts are relatively frequent. Drought can be defined as a natural but temporary imbalance of water availability, consisting of persistent lower-than-average precipitation of uncertain frequency, duration and severity, of unpredictable

et al., 1998) to estimate the actual evapotranspiration (ET<sub>a</sub>) of the reference olive orchard, (c) computing ET<sub>a</sub> with the dual crop coefficient approach, thus, partitioning it into plant transpiration and soil evaporation to make ET<sub>a</sub> more sensitive to the available soil water, (d) performing a sequential soil water balance that overcomes the limitations of the original Palmer formulation, (e) replacing the climate characteristic used for the standardization of the Palmer moisture anomaly index  $z$  by the inverse of the standard deviation of the monthly moisture departures, which are precursors of the  $z$  index. The resulting soil water balance components show a better adherence to the vegetation reality than for the original PDSI, e.g., actual ET for the MedPDSI is higher during winter and spring and is generally lower in summer, and the MedPDSI is more sensitive to dry and wet anomalies than the PDSI (Pereira et al., 2007; Paulo et al., 2012; Rosa et al., 2010a).

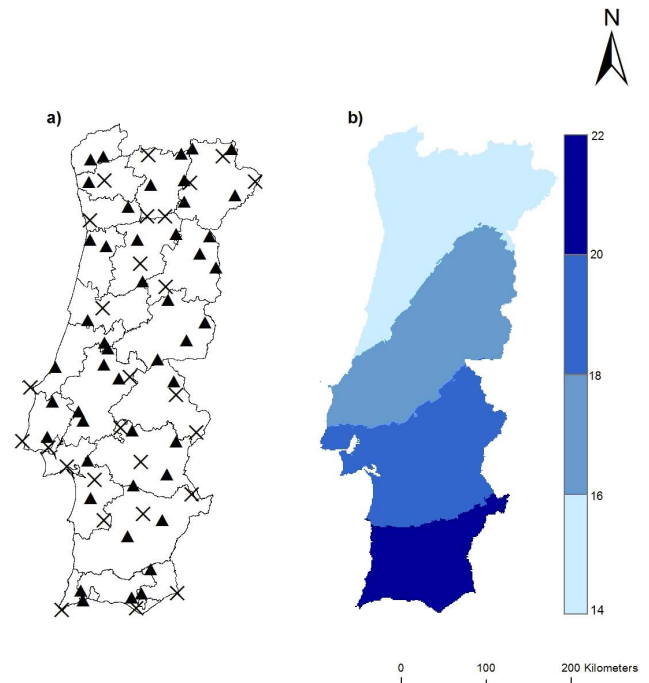
Geostatistical and multivariate techniques are commonly used to analyze the spatial and temporal variability of precipitation, droughts and other variables of interest. Precipitation and drought spatial variability analyses through the principal component analysis (PCA) have been undertaken by many authors (e.g., Bonaccorso et al., 2003; Cannarozzo et al., 2006; Raziei et al., 2008, 2009). A few of these studies refer to the Iberian Peninsula, not detailing Portuguese conditions (e.g., Rodriguez-Puebla et al., 1998; Serrano et al., 1998; Vicente-Serrano et al., 2006). Various studies were conducted for Portugal on temporal variability of precipitation using spectral analysis (Antunes et al., 2006; Corte-Real et al., 1998), non-parametric trend tests (de Lima et al., 2010), or geostatistical techniques applied to precipitation extremes (Durão et al., 2009). Santos et al. (2010) used PCA and cluster analysis to study the spatial patterns of droughts with the SPI at different time scales in mainland Portugal. Costa (2011) also focused on the same region in a spatial and temporal analysis of droughts.

The present research aims to study the spatial variability of precipitation and drought over entire mainland Portugal. The selected drought indices are SPI-computed at 3- and 12-month time scales, the PDSI and MedPDSI. To identify sub-regions characterized by different precipitation regimes and drought variability, the PCA with varimax rotation was applied to various sets of precipitation-based variables and drought indices time series, respectively.

## 2 Data and methods

### 2.1 Data

For the present study monthly precipitation and temperature data from 27 meteorological stations and monthly precipitation records from 47 rainfall stations were used (Fig. 1a). The common time period for the analysis was 1941 to 2006 (66 yr). Therefore, for the analysis of variability of precipita-



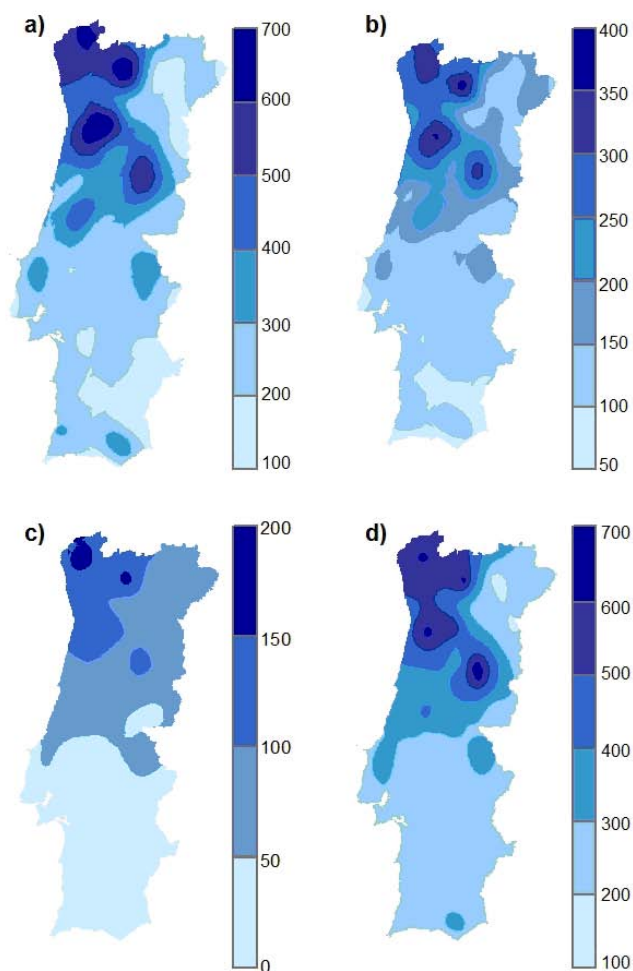
**Fig. 1.** (a) Distribution of meteorological stations (x) and pluviometric stations (▲); (b) Spatial pattern of the precipitation concentration index.

tion and computation of SPI, monthly precipitation data from 74 stations were used, while only 27 meteorological stations having also monthly maximum and minimum temperature were used for computation of PDSI and MedPDSI.

Annual precipitation datasets were investigated for randomness, homogeneity and absence of trends. The Kendall autocorrelation test, the Mann–Kendall trend test and the homogeneity tests of Mann–Whitney for the mean and the variance (Helsel and Hirsch, 1992), as described by Paulo et al. (2003) and Rosa et al. (2010b), were used for this purpose. In cases when the hypothesis of homogeneity fails (significance level of 5%), the monthly precipitation series was corrected by the method of cumulative residuals using the homogeneous dataset of the nearby stations as a reference series and considering a confidence level of 80% (cf. Allen et al., 1998). Linear models using maintenance of variance extension techniques, which preserve the variance and extreme order statistics of the reference site in the filled series (Hirsch, 1982; Vogel and Stedinger, 1985), were applied to estimate missing monthly precipitation or maximum and minimum temperature data. The reference sites were selected as those having the highest linear correlation coefficient relative to the station of interest.

### 2.2 Methods

Two sets of variables were used to delineate precipitation patterns. The first includes 5 variables: the 4 mean seasonal



**Fig. 2.** Spatial distribution of seasonal precipitation amounts: (a) winter, (b) spring, (c) summer; (d) autumn.

precipitation amounts and the precipitation concentration index (PCI) relative to each weather station. The PCI is an intra-annual precipitation variability index defined as the ratio of the monthly squared precipitation to the squared annual precipitation (De Luís et al., 2000). The index ranges from less than 10, when monthly rainfall distribution over the year is quite uniform, to values above 20, corresponding to climates with substantial monthly variability in rainfall and large concentrations of the precipitation in a few months. The second set includes 9 variables, with the percentage of seasonal precipitation in the annual total in addition to the 5 variables of the first set. The approach follows that adopted by Raziei et al. (2008). Using two sets of variables aims at checking if appropriate results may be achieved with fewer variables. All variables were normalized prior to PCA application.

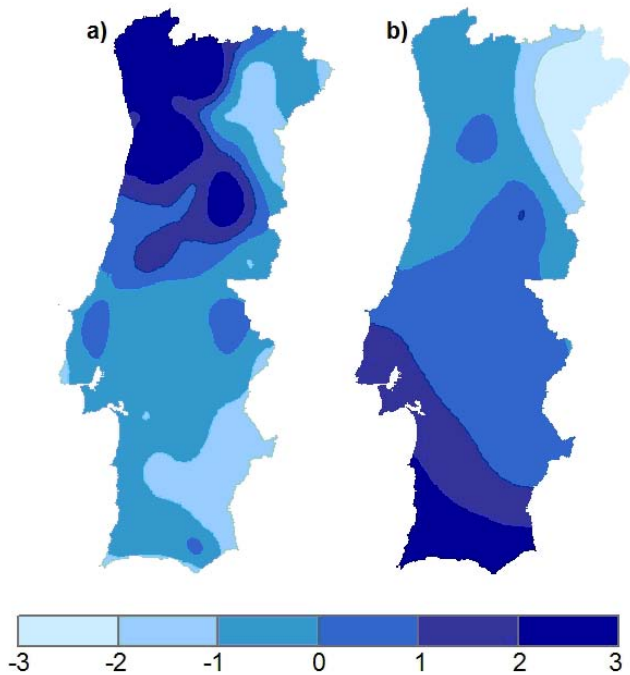
The procedures used to compute the SPI follow those proposed by Edwards (2000) and are described by Paulo et al. (2003). The calculation of PDSI and MedPDSI was per-

formed with local calibration of the indices and is described by Pereira et al. (2007) and Pereira and Rosa (2010).

The PCA is a technique for forming new uncorrelated variables that are linear combinations of the original ones (Sharma, 1996). The principal components are computed in a decreasing order of importance; the first component explains the maximum possible variance of total data, and the second component explains the maximum variance not yet explained, meaning that the last component is the one that least contributes to explain the variance of the original data. The PCA is obtained by calculating the eigenvalues and eigenvectors from the correlation matrix, where the eigenvectors give information about the weight that the original data have in the new-formed components and the eigenvalues provide the amount of explained variance by each new variable. When normalized, the eigenvectors are called “loadings” and they represent the correlation between the original data and the corresponding principal component time series. The PCA can be computed in several modes, including the R-mode and S-mode PCA (Richman, 1986), which differ on the type of data used and the way that data is organized as an input matrix for PCA. The R-mode PCA is used here for precipitation regionalisation in order to obtain the interrelationship between the considered variables, while the S-mode PCA is used for capturing drought variability and allows the identification of co-variability between the stations, considering the time variability of a given drought index.

The R-mode PCA was applied to the two above-mentioned precipitation sets separately, in order to recognize the most influencing parameters responsible for climate patterns delineation, to be used subsequently in cluster analysis. To capture spatial patterns of drought variability over Portugal, the S-mode PCA was applied to 74 series of SPI-3 and SPI-12, and 27 series of PDSI and MedPDSI, separately; i.e., we performed S-mode PCA four times, one for each index. The quality of the PCAs was tested using the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) statistic (Sheskin, 2007), whereas the decision on how many components to retain was made using North’s rule of thumb (North et al., 1982). The varimax rotation, which is an orthogonal method used to maximize the variance between the weights of each principal component, was used to identify areas with independent drought variability (Raziei et al., 2009). The loadings corresponding to each dataset were mapped to show the spatial patterns of drought variability across the country; their associated PC scores were used for drought indices inter-comparison and trend analysis.

The resultant retained PC scores corresponding to R-mode PCAs were then subjected to cluster analysis (CA) to better identify different precipitation sub-regions (Marzban and Sandgathe, 2006). The Ward method, which is an agglomerative hierarchical cluster analysis method, was used here (Sharma, 1996). Additionally, the distribution of the cumulative seasonal precipitation at selected stations within the identified sub-regions was checked using the



**Fig. 3.** Spatial distribution of the first (a) and second (b) rotated PC scores of precipitation over Portugal using 9 variables.

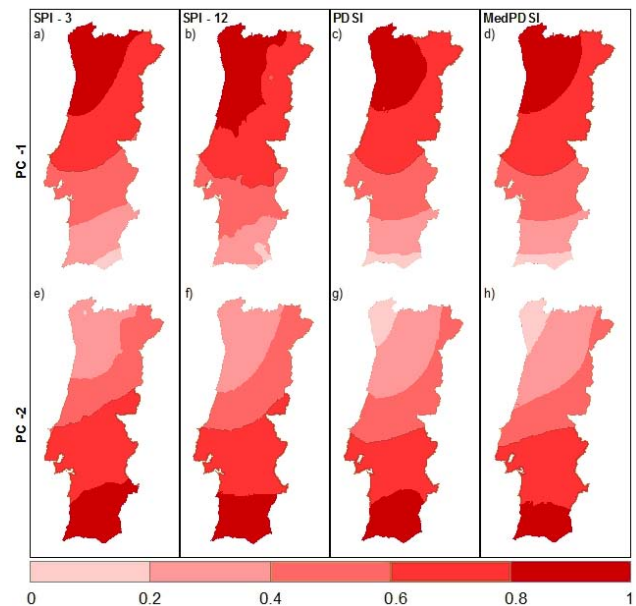
Kolmogorov-Smirnov test to examine the null hypothesis that the distributions are the same (results not shown).

### 3 Results

#### 3.1 Precipitation patterns

The spatial patterns of PCI are presented in Fig. 1b, which shows a gradual variation from north to south, indicating that the precipitation in Northern Portugal has slight seasonality, while it shows substantial seasonality in the southern regions where the precipitation is very concentrated in a few months of the year. This is well-confirmed by the spatial pattern of seasonal precipitation represented in Fig. 2, illustrating that northern areas receive more even seasonal precipitation, whereas spring and summer are dry seasons for the southern areas.

The KMO statistics applied to the precipitation sets with 9 and 5 variables are respectively 0.72 and 0.79, thus, suggesting that both are adequate for PCA (KMO test > 0.5). Following North's rule of thumb and inspection of the scree plots of the eigenvalues associated with both considered sets, two principal components (PCs) were retained and then rotated using varimax rotation. Table 1 shows the explained variances of un-rotated and varimax rotated components. Considering the set of 9 precipitation variables, the first two PCs explain 91.5 % of the total variance; the first two rotated components associated with these 9 variables account



**Fig. 4.** Varimax rotated loadings of the used drought indices: SPI-3 (a and e); SPI-12 (b and f); PDSI (c and g), MedPDSI (d and h).

for 46.2 % and 45.3 % of the total variance. In the case of the set of 5 variables, the first two components account for 98.4 % of total variance. However, the first two rotated components explained respectively 67.4 % and 31 % of the total variance, hence indicating that the second component is less important and might not be considered. The spatial pattern of the first un-rotated loading relative to the 5 variables sets showed a dipole pattern (not shown), pointing relatively to the same sub-regions represented by the first two leading rotated loading patterns of the 9 variables set. Thus, in Fig. 3 only the results for the 9 variables set are shown as they better represent the precipitation sub-regions of Portugal. This is likely to be due to the fact that variables not included in the 5 variables set are those illustrating the seasonal percentage of precipitation, which are of great importance to explain the spatial variability together with PCI (Table 2). The percentages of spring, summer and autumn precipitation in conjunction with the PCI values are responsible for differentiating Northern from Southern Portugal. Therefore, it could be concluded that the 9 variables set is the best for representation of the spatial variability of precipitation and delineation of precipitation based sub-regions.

The Kolmogorov-Smirnov test was applied to verify if the northern and southern sub-regions identified in Fig. 3 could be considered statistically different; results show p-values < 0.01 when comparing Braga in north with Faro in south. For the set of 9 variables, CA was applied to the first two rotated PC scores using the Ward method. However, results did not improve the classification of precipitation represented by varimax PC score patterns and therefore CA results are

**Table 1.** Explained variances of the un-rotated and rotated components corresponding to sets with 9 and 5 variables.

PC	9 variables		5 variables	
	Un-Rotated (%)	Varimax Rotated (%)	Un-Rotated (%)	Varimax Rotated (%)
PC-1	58.7	46.2	83.6	67.4
PC-2	32.8	45.3	14.7	31.0
Cumulative	91.5	91.5	98.3	98.4

**Table 2.** Rotated loadings associated with the PC scores illustrated in Fig. 2.

Variables	Rotated loadings			
	9 variables set		5 variables set	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Winter precipitation amount	0.996	0.037	0.972	0.214
Spring precipitation amount	0.958	-0.259	0.883	0.455
Summer precipitation amount	0.906	-0.383	0.799	0.568
Autumn precipitation amount	0.989	0.065	0.997	0.184
PCI	-0.484	0.780	-0.226	-0.969
Winter precip. %	0.218	0.863		
Spring precip. %	-0.038	-0.949		
Summer precip. %	0.264	-0.912		
Autumn precip. %	-0.315	-0.878		

not shown herein. Note that results in Fig. 3 are in agreement with those in Fig. 2, which means that the spatial distribution of PC1 and PC2 represent well the spatial distribution of precipitation throughout the country.

### 3.2 Drought: spatial variability and trend

Based on North's rule of thumb and the scree plot, the first two components were retained for all used drought indices. The two retained components for each drought index were varimax rotated. Table 3 illustrates the explained variances of un-rotated and varimax rotated components for the four drought indices. In all cases, the cumulative total explained variances of the two retained PCs are higher than 75 %; the highest value is for the SPI-12 (83.2 %) and the lowest for the PDSI (75.1 %). The first un-rotated PC explains much of the total variance for all the PCAs, ranging from 65 % for the PDSI to 75 % in case of SPI-12. The explained variance of the first varimax rotated PC accounts for 39.6 % and 46 % for PDSI and SPI-12, respectively.

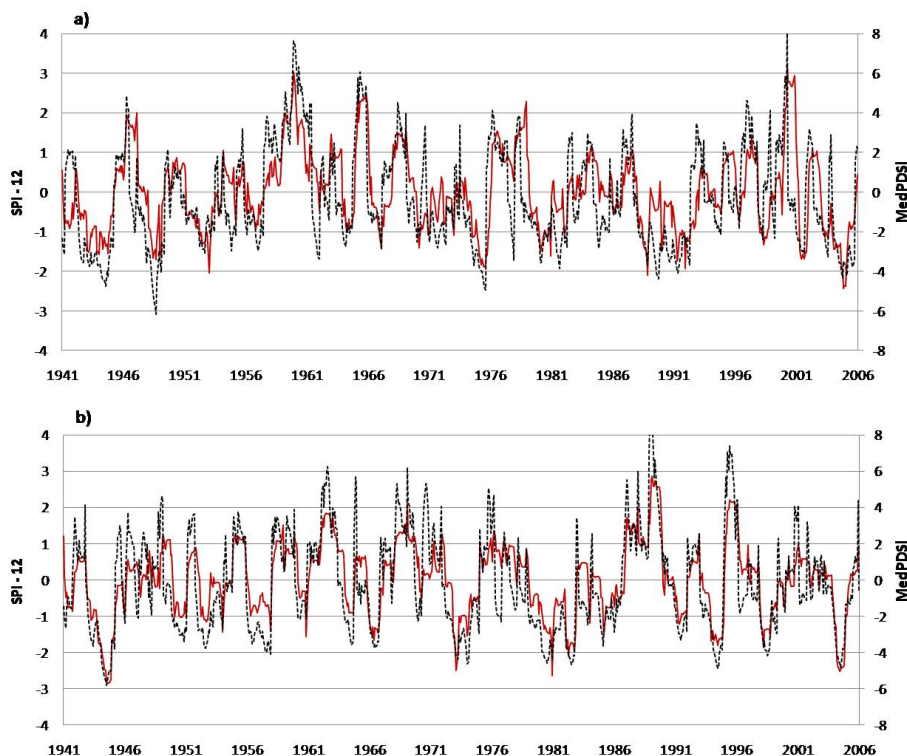
Figure 4 depicts the spatial distribution of the rotated loadings over Portugal for the four drought indices, suggesting that the country is composed of two distinct sub-regions characterized by different drought variability. The loading patterns for all drought indices are identical, delineating North-Western and Southern Portugal as two distinctive sub-regions with different drought variability and character-

istics. The first component has the highest positive loading over the northern part of the country, including the regions with higher annual rainfall and lower evapotranspiration. As for the first PC loading, the loading patterns corresponding to the second component are very similar for all the drought indices, indicating Southern Portugal as a distinct sub-region, considering drought variability. Apparently, the first component coincides relatively well with the humid areas in the north and the second component refers to the dry sub-humid and semi-arid areas in Southern Portugal.

Achieving the same sub-regions, Northern and Southern Portugal, both precipitation and drought variability reflect the role played by latitude in controlling precipitation and consequently drought variability over the country. These features agree with the country's climate classification according to Köppen (IM, 2011), which refers to a temperate climate with A dry and mild summer (Csb) in the littoral and the northern areas, a temperate climate with a dry and hot summer (Csa) in the south and the interior, and a steppe climate (Bsk) in a very small area of southeastern. The time behaviour of the drought indices MedPDSI and SPI-12 for a northern location, Braga, and a southern one, Faro, makes evident that the dry and wet occurrences and respective intensity are different between the identified sub-regions, while in each representative station both indices are in close agreement (Fig. 5). The sub-regions identified here are in close agreement with those obtained by Santos et al. (2010), applying PCA to SPI

**Table 3.** Explained variance (%) by the loadings with and without rotation for the 4 drought indices.

PC	SPI-3		SPI-12	
	Un-Rotated	Varimax Rotated	Un-Rotated	Varimax Rotated
PC-1	72.3	43.1	75.0	46.0
PC-2	8.4	37.6	8.2	37.3
Cumulative	80.7	80.7	83.2	83.2
	PDSI		MedPDSI	
	Un-Rotated	Varimax Rotated	Un-Rotated	Varimax Rotated
PC-1	65.4	39.6	65.9	40.7
PC-2	9.7	35.5	9.8	35.0
Cumulative	75.1	75.1	75.7	75.7

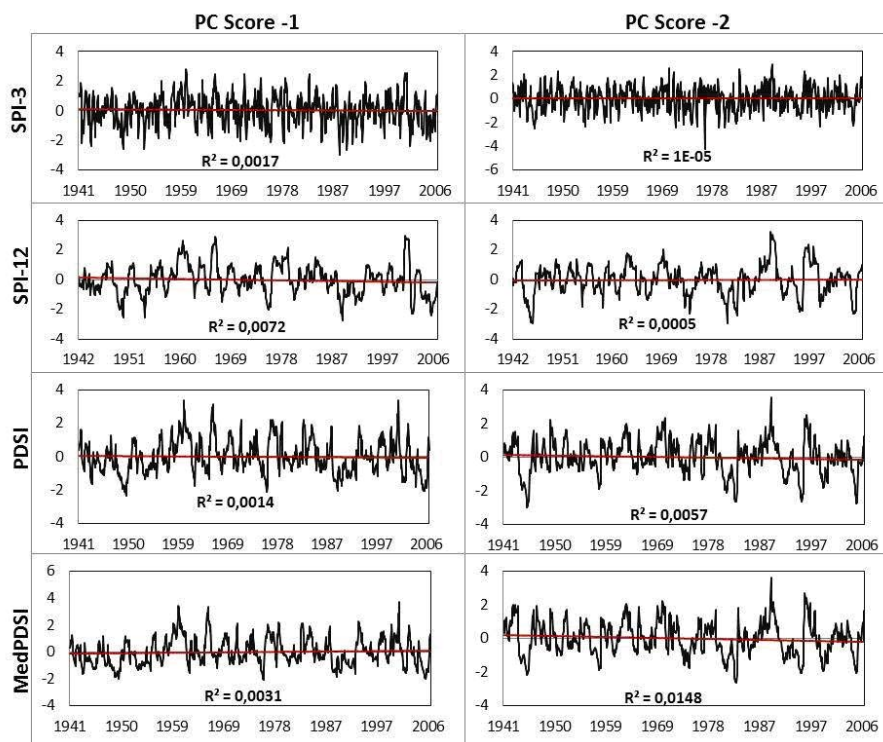
**Fig. 5.** Time behaviour of MedPDSI (---) and SPI-12 (—) for two stations (a) Braga in the northern region and (b) Faro in the southern region.

at different time scales. It is worth noticing that present results indicate a good agreement between the four indices.

Table 4 shows the correlation coefficients between the PC scores of all drought indices used. The lowest correlation is between SPI-3 and SPI-12, which is due to different time scales; the highest correlation is observed between the PDSI and MedPDSI for both PC scores, which relates to the fact that both indices are computed with the same variables, and apparently because of inherent long-term memory and seasonal time variability (Rosa et al., 2010a). The agreements

between the PC scores of SPI-3 and SPI-12 with those for PDSI and MedPDSI are also reasonably high for both PC scores, though their time scales are different. Thus, the correlations between the second PC score of SPI-12 with those for PDSI and MedPDSI are much higher than that of SPI-3 with those of PDSI and MedPDSI.

The time variabilities of the PC scores of all four indices were examined for trend using a linear least square model (Fig. 6). Results show that the PC score time variabilities are consistent among the sub-regions, suggesting that there



**Fig. 6.** Time variability of the PC scores of the drought indices and the respective linear trend (–).

**Table 4.** Correlations between the PC scores of all the drought indices.

PC1	SPI-3	SPI-12	PDSI	MedPDSI
SPI 3	1	0.24	0.59	0.56
SPI 12		1	0.50	0.50
PDSI			1	0.94
MedPDSI				1
PC 2	SPI-3	SPI-12	PDSI	MedPDSI
SPI 3	1	0.25	0.44	0.41
SPI 12		1	0.66	0.68
PDSI			1	0.87
MedPDSI				1

is no evidence for a long-term trend for drought increase or decrease in both identified sub-regions and for the 4 indices. This absence of trend is justified by the quite small linear trends in precipitation and temperature identified by Paulo et al. (2012). These results are also in agreement with those found by Moreira et al. (2006) and Sousa et al. (2011) for Portugal. The first authors used log-linear models applied to contingency tables relative to SPI drought class transitions and found no trend in drought occurrence and severity for the last 60 yr. The second used a modified version of the Mann-Kendal test applied to the self-calibrated PDSI for a period of 100 yr and found no trend for increasing drought occurrence

and severity in Portugal. It is important to note that results from all considered indices are compatible.

#### 4 Conclusions

The spatial variability of the precipitation was studied using R-mode PCA. Two sub-regions with different precipitation patterns were identified, one representing the North-Western and the other the Southern Portugal. The cluster analysis did not induce any improvement in this study, since the maps computed with the PC scores allowed a more accurate understanding of the precipitation than with the CA.

The drought spatial variability was assessed by applying S-mode PCA to different drought indices (SPI-3, SPI-12, PDSI and MedPDSI); for all four cases two distinctive sub-regions were identified. The first one covers the north and the second one the southern part of Portugal. These results are in agreement with the identified precipitation variability, and are also consistent with recent studies on drought variability. PC1 explains the drought variability in the northern sub-region, while PC2 mainly refers to the southern sub-region. This applies to all drought indices considered. Results of all drought indices are similar in the identification of the sub-regions and regarding the scores, which are highly correlated, except for the SPI-3 month because of its smaller time scale. Checking the stability of the identified sub-regions using fine resolution, gridded datasets should be a topic for future research.

A trend analysis using a linear least squares model was performed using the PC scores of the four drought indices and, again, results are similar among them, not showing evidence of a trend for either an increase or decrease of drought occurrence or severity in both sub-regions. These results agree with those of previous studies on the temporal analysis of droughts in Portugal. Further analysis will be developed for various climate change scenarios and models to better examine impacts of climate change on drought tendencies over the target area.

*Acknowledgements.* Data relative to weather stations were provided by the Institute of Meteorology and those of the rainfall stations were obtained from the SNIRH, Lisbon.

Edited by: C. Andrade

Reviewed by: two anonymous referees

## References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M.: Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrig. Drain, 56, FAO, Rome, 300 pp., 1998.
- Antunes, S., Oliveira, P., and Rocha, A.: Detecting spatio-temporal precipitation variability in Portugal using multichannel singular spectral analysis, *Int. J. Climatol.*, 26, 2199–2212, 2006.
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., and Sutera, A.: Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily, *Water Resour. Manage.*, 17, 273–296, 2003.
- Cannarozzo, M., Noto, L. V., and Viola, F.: Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000), *Phys. Chem. Earth*, 31, 1201–1211, 2006.
- Corte-Real, J., Qian, B., and Xu, H.: Regional climate change in Portugal: Precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation, *Int. J. Climatol.*, 18, 619–635, 1998.
- Costa, A. C.: Local patterns and trends of the Standard Precipitation Index in southern Portugal (1940–1999), *Adv. Geosci.*, 30, 11–16, doi:10.5194/adgeo-30-11-2011, 2011.
- De Luís, M., Reventós, J., González-Hidalgo, J. C., Sanchez, I. R. and Cortina, J.: Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain), *Int. J. Climatol.*, 20, 1451–1469, 2000.
- de Lima, M. I. P., Carvalho, S. C. P., de Lima, J. L. M. P., and Coelho, M. F. E. S.: Trends in precipitation: analysis of long annual and monthly time series from mainland Portugal, *Adv. Geosci.*, 25, 155–160, doi:10.5194/adgeo-25-155-2010, 2010.
- Durão, R., Pereira, M. J., Costa, A. C., Corte-Real, J. M., and Soares, A.: Indices of precipitation extremes in Southern Portugal a geostatistical approach, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 241–250, doi:10.5194/nhess-9-241-2009, 2009.
- Edwards, D.: SPI defined, in: <http://ulysses.atmos.colostate.edu/SPI.html>, Colorado, 2000.
- Helsel, D. R. and Hirsch, R. M.: *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, Amsterdam, 522 pp., 1992.
- Hirsch, R. M.: A comparison of four streamflow record extension techniques. *Water Resour. Res.*, 18, 1081–1088, 1982.
- IM: Classificação climática de Köppen, <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/> December, 2011.
- Marzban, C. and Sandgathe, S.: Cluster Analysis for verification of precipitation fields, *Weather Forecast.*, 21, 824–838, 2005.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J.: The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: 8th Conference on Applied Climatology, Boston, Am. Meteor. Soc., 179–184, 1993.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J.: Drought monitoring with multiple time scales, in: 9th Conference on Applied Climatology, Boston, Am. Meteor. Soc., 233–236, 1995.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P.: A review of drought concepts, *J. Hydrol.*, 391, 202–216, 2010.
- Moreira, E. E., Paulo, A. A., Pereira, L. S., and Mexia, J. T.: Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models, *J. Hydrol.*, 331, 349–359, 2006.
- North, G. R., Bell, T. L., and Cahalan, R. F.: Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 699–706, 1982.
- Palmer, W. C.: *Meteorological Drought*, Research Paper 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., 1965.
- Paulo, A. A. and Pereira, L. S.: Drought concepts and characterization: comparing drought indices applied at local and regional scales, *Water Int.*, 31, 37–49, 2006.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S., and Matias, P. G.: Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the Standardized Precipitation Index, edited by: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L. S., Oweis, T., Shatanawi, M., and Zairi, A., *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*, Dordrecht: Kluwer, 55–78, 2003.
- Paulo, A. A., Rosa, R., and Pereira, L. S.: Climate trends and drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, in press, 2012.
- Pereira, L. S. and Rosa, R. D.: O MedPDSI, uma modificação do índice de Palmer para clima mediterrâneo. 1. Desenvolvimento. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, Edições Colibri, CEER, 15–33, 2010.
- Pereira, L. S., Rosa, R. D., and Paulo, A. A.: Testing a modification of the Palmer drought severity index for Mediterranean environments, in: *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, edited by: Rossi, G., Vega, T., Bonaccorso, B., Springer, Dordrecht, 149–167, 2007.
- Pereira, L. S., Cordery, I., and Iacovides, I.: *Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges*. Springer, Dordrecht, 382 pp., 2009.
- Raziei, T., Bordi, I., and Pereira, L. S.: A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1309–1321, doi:10.5194/hess-12-1309-2008, 2008.
- Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S., Bordi, I.: Spatial patterns and temporal variability of drought in Western Iran, *Water Res. Manage.*, 29, 439–455, 2009.
- Richman, M. B.: Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 6, 293–335, 1986.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., Nieto, S., and Garmendia, J.: Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula, *Int. J. Climatol.*, 18, 299–316, 1998.
- Rosa, R. D., Pereira, L. S. and Paulo, A. A.: O MedPDSI, uma modificação do índice de Palmer para clima mediterrâneo. 2.

- Aplicação no país, in: Métodos, Tecnologias e Desafios, edited by: Pereira, L. S., Mexia, J. T., and Pires, C. A. L., *Gestão do Risco em Secas*, Edições Colibri, CEER, 35-58, 2010a.
- Rosa, R. D., Paulo, A. A., Matias, P. G., Espírito Santo, M. F., and Pires, V. C.: Tratamento da qualidade das séries de dados climáticos quanto a homogeneidade, aleatoriedade e tendência e completagem de séries de dados, in: *Gestão do Risco em Secas*, edited by: Pereira, L. S., Mexia, J. T., and Pires, C. A. L., Métodos, Tecnologias e Desafios, Edições Colibri, CEER, 119–139, 2010b.
- Santos, J. F., Pulido-Calvo, I., and Portela, M. M.: Spatial and temporal variability of droughts in Portugal, *Water Resour. Res.*, 46, W03503, doi:10.1029/2009WR008071, 2010.
- Serrano, A., Garcia, J. A., Mateos, V. L., Cancillo, M. L., and Garrido, J.: Monthly modes of variation of precipitation over the Iberian Peninsula, *J. Climate*, 12, 2894–2918, 1998.
- Sharma, S.: *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley & Sons, 512 pp., 1996.
- Sheskin, D.: *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, Chapman & Hall/CRC, 1736 pp., 2007.
- Sousa, P. M., Trigo, R. M., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., and Garcia-Herrera, R.: Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 33–51, doi:10.5194/nhess-11-33-2011, 2011.
- Vicente-Serrano, S. M.: Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula, *Water Res. Manage.*, 20, 37–60, 2006.
- Vogel, R. M. and Stedinger, J. R.: Minimum variance streamflow record augmentation procedures, *Water Resour. Res.*, 21, 715–723, 1985.

## 4. Conclusões

A Análise de Componentes Principais em modo R e com rotação Varimax foi aplicada para estudar a variabilidade espacial da precipitação em Portugal, utilizando dois conjuntos de variáveis (9 variáveis: precipitação sazonal, percentagem de precipitação em cada estação e Índice de Concentração de Precipitação (PCI); 5 variáveis: precipitação sazonal e PCI). Os resultados permitem a identificação de duas sub-regiões, uma representando o Noroeste do País e a outra o Sul.

A Análise de Componentes Principais utilizando os dois conjuntos de variáveis mostram que, apesar de se obterem melhores resultados em termos de parcimónia e adequabilidade com apenas 5 variáveis, já que os mapas referentes aos PC scores da precipitação permitem uma compreensão mais precisa da variabilidade da precipitação. Acresce ainda que a Análise de Clusters efectuada após Análise de Componentes Principais não promoveu nenhuma melhoria neste estudo.

A variabilidade espacial das secas foi também estudada tirando partido de uma Análise de Componentes Principais, agora em modo S, e, igualmente, com rotação Varimax para diferentes índices de seca (SPI-3, SPI-12, PDSI e MedPDSI). Em todos os casos foram identificadas duas sub-regiões. À semelhança dos mapas da precipitação obtidos neste trabalho, a primeira região engloba o Norte litoral do país e a segunda o Sul. Estes resultados estão de acordo com estudos sobre a variação espacial das secas recentemente realizados (Vicente-Serrano et al., 2006 e Santos et al., 2010). A primeira componente principal explica a variabilidade das secas na sub-região do Norte e a segunda caracteriza o Sul, em qualquer dos índices de seca considerados.

Os índices de seca produzem resultados muito semelhantes entre si, com a identificação de praticamente as mesmas sub-regiões, bem como os PC scores que mostram uma elevada correlação entre os índices, com excepção feita ao SPI-3 meses devido à sua escala temporal mais pequena. No futuro, dever-se-ia avaliar a estabilidade das sub-regiões identificadas através da utilização de dados com uma cobertura mais densa da área de estudo.

Para finalizar, efectuou-se uma análise de tendência linear aos PC scores dos quatro índices de seca; novamente, os resultados são coerentes entre eles e mostram que não é evidente a existência de qualquer tendência para o agravamento ou diminuição da seca e da sua severidadenas duas sub-regiões. Estes resultados estão em concordância com outros estudos que analisaram a variação temporal das secas em Portugal, e.g., Moreira et al. (2006) e Sousa et al. (2011). Mais estudos, com diferentes cenários para a evolução do

clima tendo em conta as alterações climáticas devem ser desenvolvidos, para melhor compreender os impactos das alterações climáticas na tendência de ocorrência de seca em Portugal.

## Bibliografia

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D. and Wright, J. L.: FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131(1), 2-13, 2005.
- Antunes, S., Oliveira, P. and Rocha, A.: Detecting spatio-temporal precipitation variability in Portugal using multichannel singular spectral analysis, *Int. J. Climatol.*, 26, 2199-2212, 2006.
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G. and Sutera, A.: Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily, *Water Resour. Manage.*, 17, 273-296, 2003.
- Cannarozzo, M., Noto, L. V. and Viola, F.: Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921-2000), *Phys. Chem. Earth*, 31, 1201-1211, 2006.
- Corte-Real, J., Qian, B. and Xu, H.: Regional climate change in Portugal: Precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation, *Int. J. Climatol.*, 18, 619-635, 1998.
- Costa, A. C.: Local patterns and trends of the Standard Precipitation Index in southern Portugal, *Adv. Geosci.*, 30, 11-16, 2011.
- De Luís, M., Reventós, J., González-Hidalgo, J. C., Sanchez, I. R. and Cortina, J.: Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain), *Int. J. Climatol.*, 20, 1451-1469, 2000.
- de Lima, M. I. P., Carvalho, S. C. P., de Lima, J. L. M. P. and Coelho, M. F. E. S.: Trends in precipitation: analysis of long annual and monthly time series from mainland Portugal, *Adv. Geosci.*, 25, 155-160, 2010.
- Durão, R., Pereira, M.J, Costa, A. C., Corte-Real, J. M., and Soares, A.: Indices of precipitation extremes in Southern Portugal – a geostatistical approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 241–250, 2009.
- Dracup, J. A., Lee, K. S. and Paulson, E. D.: on the definition of droughts, *Water Resour. Res.*, 16, no: 2, 297-302, 1980.
- Edwards, D: SPI defined. In: <http://ulysses.atmos.colostate.edu/SPI.html>, Colorado, 2000.
- Gibbs, W. J. and Maher, J. V.: Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of meteorologybull.* 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia, 1967.

Gonçalves, M. J. Z.: Contribuição para o estudo das secas em Portugal Continental. Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa, pp. 35-118, 1982.

Helsel D.R. and Hirsch R.M.: Statistical Methods in Water Resources. Elsevier, Amsterdam, 1992.

Hirsch R.M.: A comparison of four streamflow record extension techniques. Water Resour. Res. 18(4), 1081-1088, 1982.

Holtz, U.: The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) and its Political Dimension. [Online] [http://www.unccd.int/search/search\\_results.php?query=definition+of+desertification](http://www.unccd.int/search/search_results.php?query=definition+of+desertification) [Consultado: Dezembro, 2010], 2003.

IM: Classificação climática de Köppen. [Online] <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/> [Consultado: Dezembro, 2011], 2011

Köppen, W.: Die Klimate der Erde. Walter de Gruyter, Berlin, 1923.

Lloyd's: Global water scarcity. Risks and challenges for business.[Online] [http://assets.wwf.org.uk/downloads/water\\_scarcity\\_aw.pdf](http://assets.wwf.org.uk/downloads/water_scarcity_aw.pdf)[Consultado: Dezembro, 2010], 2010.

INAG: Plano Nacional da água, 2001.

Marzban, C. and Sandgathe, S.: Cluster Analysis for verification of precipitation fields, Weather Forecast, 21, 824-838, 2006.

McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J.: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: 8th Conference on Applied Climatology, Boston: Am. Meteor. Soc. 179-184, 1993.

McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J.: Drought monitoring with multiple time scales. In: 9th Conference on Applied Climatology, Boston: Am. Meteor. Soc. 233-236, 1995.

Mishra, A. K. and Singh, V. P.: A review of drought concepts, J. Hydrol., 391, 202-216, 2010.

Moreira E. E., Paulo A. A., Pereira L. S. and Mexia J. T.: Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models, J. Hydrol., 331: 349-359, 2006.

Moreira, E. E., Coelho, C. A., Paulo, A. A., Pereira, L. S. and Mexia T. J.: SPI-based drought category prediction loglinear models, J. Hydrol., 354, 116-130, 2008.

North, G. R., Bell, T. L. and Cahalan, R. F.: Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions, *Monthly Weather Review*, 110, 699-706, 1982.

Palmer, W. C.: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., 1965.

Palmer, W. C.: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide. The new crop moisture index. *Weatherwise* 21, 156-161, 1968.

Paulo, A. A.: Avaliação da homogeneidade regional do clima para caracterização da seca no Alentejo. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, Edições Colibri, CEER, 73-87, 2010.

Paulo, A. A., Rosa, R. D., Martins, D.: Variabilidade temporal e espacial dos índices de seca. Comparação entre o SPI, o PDSI e o MedPDSI. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, Edições Colibri, CEER, 59-71, 2010.

Paulo, A. A. and Pereira, L. S.: Drought concepts and characterization: comparing drought indices applied at local and regional scales. *Water Int.*, 31(1), 37-49, 2006.

Paulo, A. A. and Pereira, L. S.: Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains, *Water Resour Manage*, 21, 1813–1827, 2007.

Paulo, A. A. and Pereira, L. S.: Stochastic Prediction of Drought Class Transitions, *Water Resour Manage*, 22, 1277-1296, 2008.

Paulo, A. A., Pereira, L. S. and Matias, P. G.: Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the Standardized Precipitation Index, In: Rossi G, Cancelliere A, Pereira LS, Oweis T, Shatanawi M, Zairi A (ed) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Dordrecht: Kluwer, 55-78, 2003.

Paulo A. A., Rosa, R., and Pereira L. S.: Climate trends and drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* (this issue), 2012.

Pereira, L. S.: Introdução à gestão do risco de secas. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, Edições Colibri, CEER, 3-11, 2010.

Pereira, L. S., Cordery, I., and Iacovides, I.: Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges. Springer, Dordrecht, 382 p., 2009.

Pereira, L. S., Rosa, R. D., and Paulo, A. A.: Testing a modification of the Palmer drought severity index for Mediterranean environments. In: Rossi, G., Vega, T., Bonaccorso, B. (eds.), Methods and Tools for Drought Analysis and Management. Springer, Dordrecht, 149-167, 2007.

Pereira, L. S., and Rosa, R. D.: O MedPDSI, uma modificação do índice de Palmer para clima mediterrâneo. 1. Desenvolvimento. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios, Edições Colibri, CEER, 15-33, 2010.

Pimenta, R. E., and Cristo, F. P.: Vigilância, acompanhamento e predição da evolução de secas em Portugal Continental, In: 4º Congresso da água, Assoc. Portuguesa dos Recursos Hídricos, Assoc. Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Lisboa, 1998.

Raziei, T., Bordi, I., Pereira, L. S.: A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability, Hydrol. Earth Syst. Sci., 12, 1309-1321, 2008.

Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S., Bordi, I.: Spatial patterns and temporal variability of drought in Western Iran, Water Res. Manage., 29, 439-455, 2009.

Richman, M. B. Rotation of principal components, J. Climatol., 6, 293-335, 1986.

Rodriguez-Puebla, C., Encinas, A.H., Nieto, S., Garmendia, J.: Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula, Int. J. Climatol., 18, 299-316, 1998.

Rooy, V. M. P.: A rainfall anomaly index independent of time and space, Notas 14, 43, 1965.

Rosa, R. D., Pereira, L. S. and Paulo, A. A.: O MedPDSI, uma modificação do índice de Palmer para clima mediterrânico. 2. Aplicação no país. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios, Edições Colibri, CEER, 35-58, 2010a.

Rosa, R. D., Paulo, A. A., Matias, P. G., Espírito Santo, M. F. and Pires, V. C.: Tratamento da qualidade das séries de dados climáticos quanto a homogeneidade, aleatoriedade e tendência e completagem de séries de dados. In: Pereira, L. S., Mexia, J. T., Pires, C. A. L. (eds.), Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios, Edições Colibri, CEER, 119-139, 2010b.

Santos, J. F., Pulido-Calvo, I. and Portela, M. M.: Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. *Water Resour. Res.* 46, W03503, doi:10.1029/2009WR008071, 2010.

Serrano, A., Garcia, J. A., Mateos, V. L., Cancillo, M. L. and Garrido, J.: Monthly modes of variation of precipitation over the Iberian Peninsula, *Journal of Climate*, 12, 2894-2918, 1998.

Shafer, A. and Dezman, L. E.: Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: Preprints, westerns snow Conf., Reno, NV, Colorado State University, 164-175, 1982.

SNIRH: Precipitação media anual. [Online] <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=2> [Consultado: Janeiro, 2012].

Sharma, S.: *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley & Sons, 1996.

Sheskin, D.: *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, Chapman & Hall/CRC, 1736 pp., 2007.

Sousa, P. M., Trigo, M. R., Aizpura, P., Nieto, R., Gimeno, L. and Garcia-Herrera, R.: Trends and extremes of droughts indices throughout the 20<sup>th</sup> century in the Mediterranean. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 33-51, 2011.

Tate, E. L. and Gustard, A.; Drought definition: a hydrological perspective. In J. J. Vogt, F. Somma, eds. *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Dordrecht: Kluwer, 23-48, 2000.

Teixeira, J. L. and Pereira, L. S., ISAREG, an irrigation scheduling model, *ICID bulletin*, 41(2), 29-48, 1992.

Thornthwaite, C. W.: the climates of North America according to a new classification, *Geogr. Rev.*, 633-655, 1931.

UNEP: Vital water graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters - 2nd Edition. Global waterstress and scarcity. [Online] <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article69.html> [Consultado: Dezembro, 2011], 2008a

UNEP: Vital water graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters - 2nd Edition. Trends in global water use by sector [Online] <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article43.html> [Consultado: Dezembro, 2011], 2008b

UN-Water: Coping with water scarcity. A strategic issue and priority for system-wide action. [Online] <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/waterscarcity.pdf> [Consultado: Dezembro, 2011], 2006.

UN-Water: Coping with water scarcity. Word water day, brochure. [Online] <http://www.fao.org/nr/water/docs/wwd07brochure.pdf> [Consultado: Dezembro, 2011], 2007a.

UN-Water: Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century. Word water day, [Online] <http://www.fao.org/nr/water/docs/escarcity.pdf> [Consultado: Dezembro, 2011], 2007b.

Vicente-Serrano, S. M.: Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula. *Water Res. Manage.*, 20, 37-60, 2006.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I.: A multiscalar drought index to global warning: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718, 2010.

Vogel, R. M., Stedinger, J. R.: Minimum variance streamflow record augmentation procedures. *Water Resour. Res.* 21(5): 715-723, 1985.

Wilhite, D. A., Glantz, M. H.: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. In: Wilhite, D. A., Easterling, W. E., Wood, D. A. (eds.), *Planning for Drought, Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Westview Press, Boulder. 13-27, 1987.

WHO: 10 facts about water scarcity. [Online] <http://www.who.int/features/factfiles/water/en/> [Consultado: Dezembro, 2011], 2009.

Monacelli, G., Galluccio, M. C. and Abbafati, M.: Drought assessment and forecasting, in *Drought within the context of the region VI*, Working group on hydrology, WMO, 2005.

Worldmapper, Killed by Drought, 2006 [Online] <http://www.worldmapper.org/display.php?selected=249> [Consultado: Dezembro, 2011].

Yevjevich, V.: An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought. *Hydrologicpaper n° 27*, Fort Collins: Colorado State Univ., 1967.

# Anexos

Figura 0.1. Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	E
Figura 0.2. Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	G
Figura 0.3. Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	I
Figura 0.4. Mapas do primeiro (a) e segundo (b) loading da PCA do SPI-9. Com resultados muito semelhantes aos mapas obtidos com os outros índices. ....	J
Figura 0.5. Scree plot dos 27 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	L
Figura 0.6. Scree plot dos 27 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	N
Figura 0.7. Scree plot dos 9 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	P
Figura 0.8. Scree plot dos 5 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.....	R

Quadro 0.1. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	D
Quadro 0.2. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	D
Quadro 0.3. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	F
Quadro 0.4. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	F
Quadro 0.5 Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	H
Quadro 0.6. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	H
Quadro 0.7 Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	K
Quadro 0.8. Variância explicada pelos 27 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	K
Quadro 0.9. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	M
Quadro 0.10. Variância explicada pelos 27 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	M
Quadro 0.11. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	O
Quadro 0.12. Variância explicada pelos 9 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	O
Quadro 0.13. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett. ....	Q
Quadro 0.14. Variância explicada pelos 5 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação. ....	Q

## Anexo 1: Análise de Componentes Principais

### SPI-3

**Quadro 0.1. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,988
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	107846,973
	df	2701
	Sig.	,000

**Quadro 0.2. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	53,500	72,297	72,297	53,500	72,297	72,297	31,869	43,066	43,066
2	6,193	8,369	80,667	6,193	8,369	80,667	27,824	37,600	80,667
3	1,309	1,769	82,435						
4	1,230	1,662	84,097						
5	,897	1,213	85,310						
6	,607	,821	86,130						
7	,546	,737	86,868						
8	,538	,727	87,595						
9	,447	,604	88,198						
10	,376	,508	88,706						
11	,352	,476	89,181						
12	,344	,464	89,646						
13	,325	,439	90,085						
14	,316	,427	90,512						
15	,294	,397	90,908						
16	,274	,371	91,279						
17	,260	,351	91,631						
18	,253	,342	91,972						
19	,247	,334	92,307						
20	,238	,321	92,628						

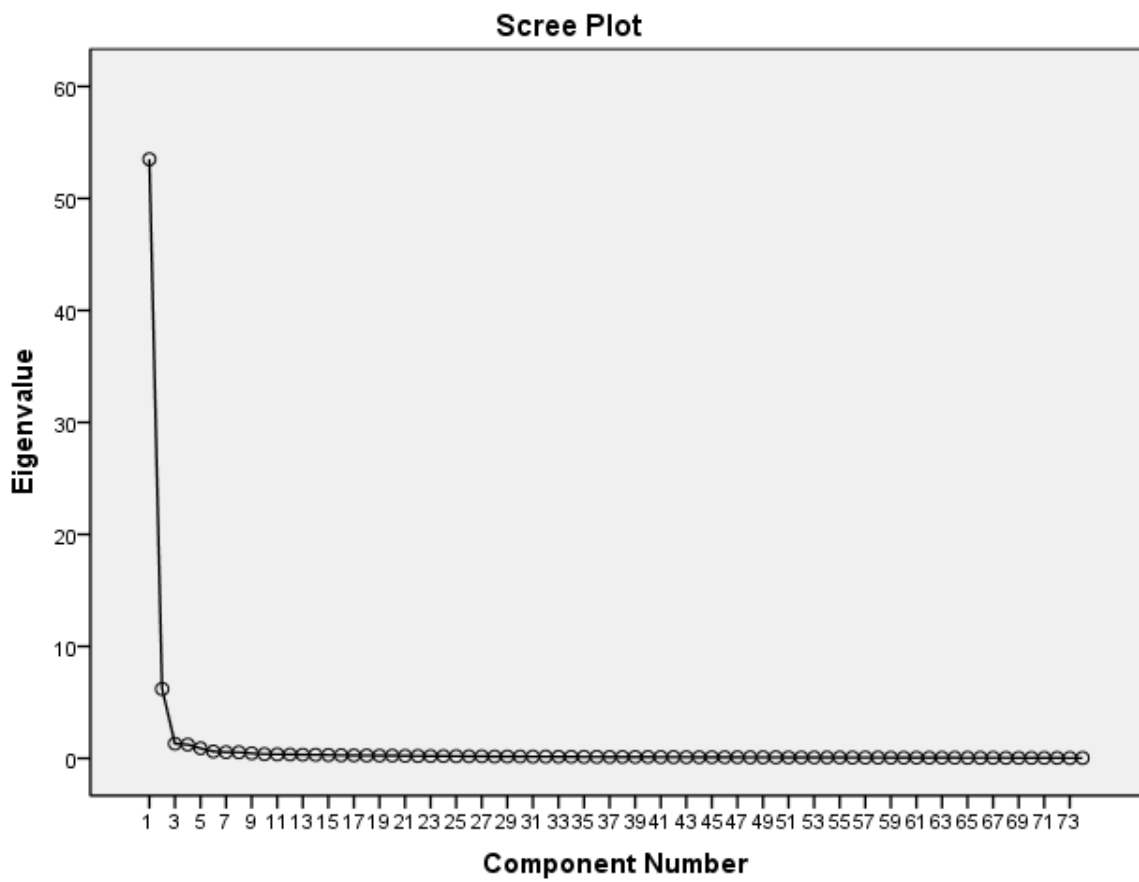


Figura 0.1 Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.

SP- 12

Quadro 0.3. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,967
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	143539,152
	df	2701
	Sig.	,000

Quadro 0.4. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	55,513	75,018	75,018	55,513	75,018	75,018	34,008	45,957	45,957
2	6,075	8,210	83,228	6,075	8,210	83,228	27,580	37,271	83,228
3	1,450	1,959	85,187						
4	1,111	1,501	86,688						
5	,840	1,135	87,823						
6	,803	1,086	88,909						
7	,652	,881	89,789						
8	,628	,848	90,637						
9	,525	,709	91,346						
10	,493	,666	92,012						
11	,431	,583	92,595						
12	,405	,548	93,142						
13	,361	,488	93,630						
14	,322	,436	94,066						
15	,307	,414	94,480						
16	,273	,369	94,849						
17	,255	,344	95,193						
18	,229	,309	95,502						
19	,202	,273	95,775						
20	,187	,252	96,027						

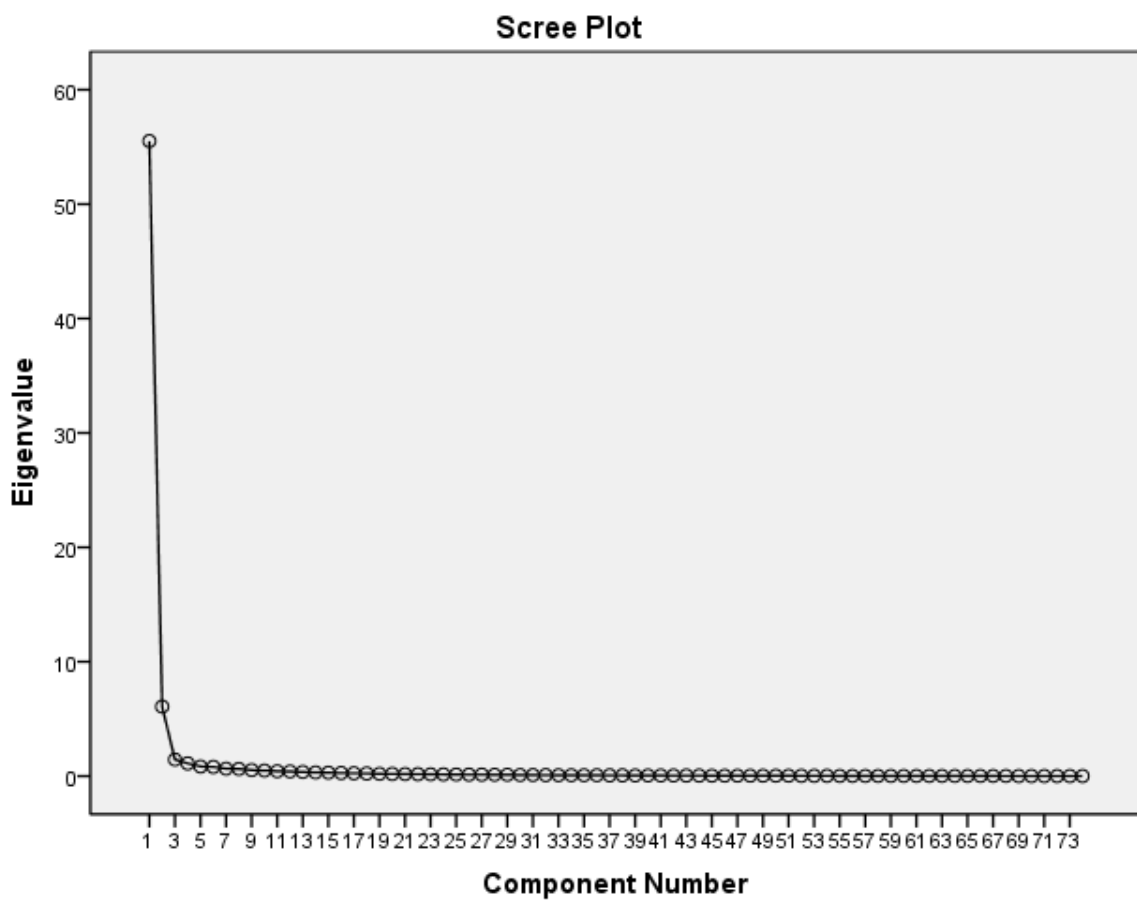


Figura 0.2. Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.

## SPI-9

**Quadro 0.5 Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,975
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	131221,082
	df	2701
	Sig.	,000

**Quadro 0.6. Variância explicada pelos primeiros 20 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	55,019	74,350	74,350	55,019	74,350	74,350	33,605	45,412	45,412
2	6,157	8,320	82,670	6,157	8,320	82,670	27,571	37,258	82,670
3	1,262	1,705	84,375						
4	1,019	1,378	85,753						
5	,904	1,222	86,975						
6	,861	1,163	88,138						
7	,630	,852	88,990						
8	,606	,820	89,809						
9	,509	,687	90,497						
10	,447	,605	91,101						
11	,407	,550	91,651						
12	,402	,544	92,194						
13	,349	,472	92,666						
14	,335	,453	93,119						
15	,319	,431	93,550						
16	,285	,385	93,935						
17	,264	,356	94,291						
18	,253	,341	94,633						
19	,212	,286	94,919						
20	,204	,275	95,194						

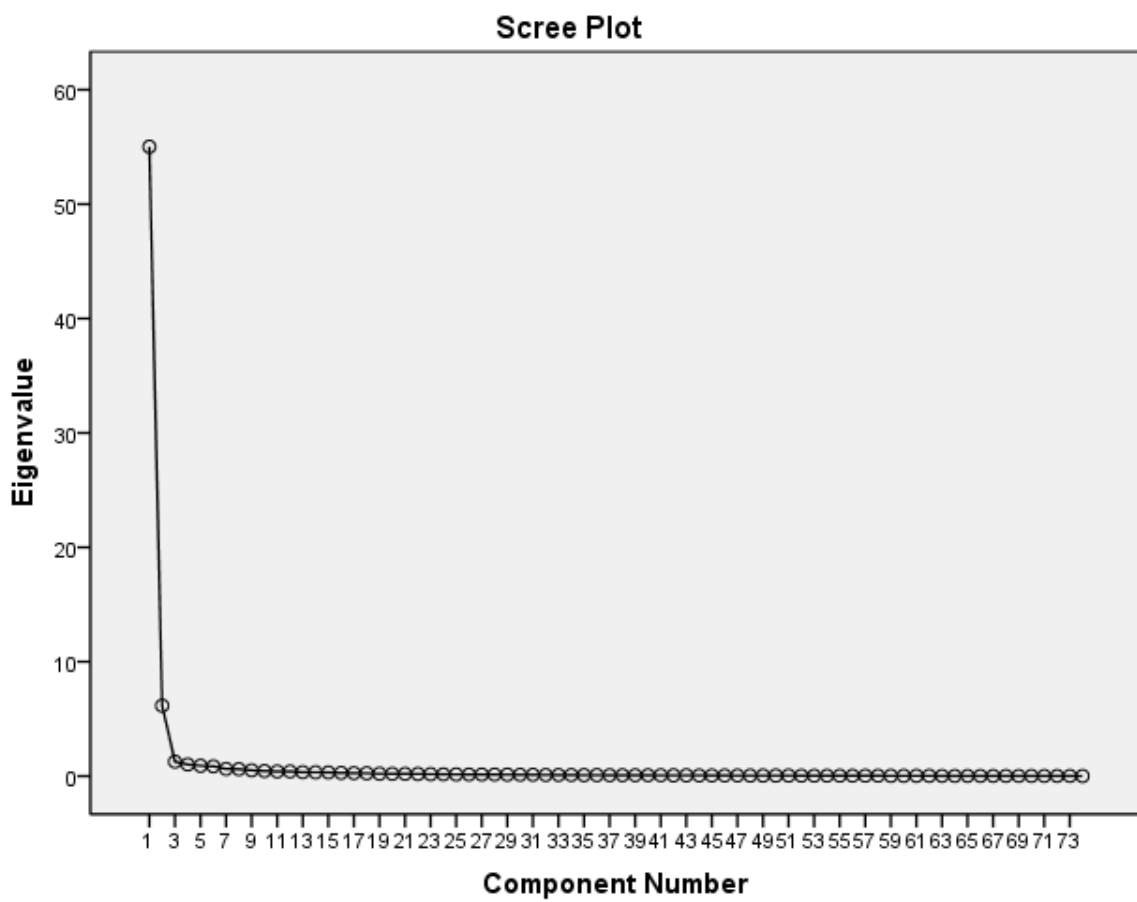
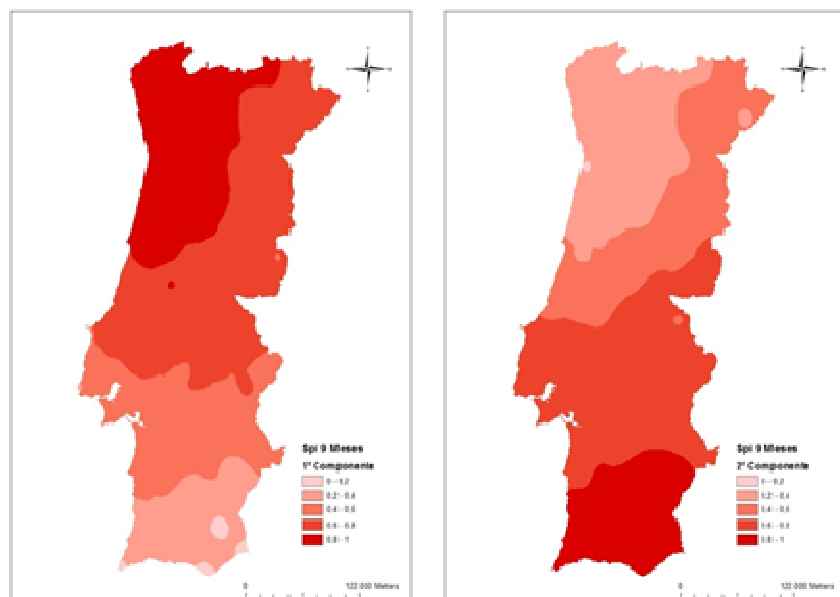


Figura 0.3. Scree plot dos 74 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.



**Figura 0.4.** Mapas do primeiro (a) e segundo (b) loading da PCA do SPI-9. Com resultados muito semelhantes aos mapas obtidos com os outros índices.

## MedPDSI

**Quadro 0.7 Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,966
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	27643,831
	df	351
	Sig.	,000

**Quadro 0.8. Variância explicada pelos 27 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	17,791	65,892	65,892	17,791	65,892	65,892	10,999	40,737	40,737
2	2,659	9,850	75,741	2,659	9,850	75,741	9,451	35,005	75,741
3	,861	3,189	78,930						
4	,641	2,375	81,305						
5	,572	2,120	83,425						
6	,461	1,708	85,133						
7	,374	1,385	86,518						
8	,364	1,348	87,866						
9	,332	1,228	89,094						
10	,300	1,112	90,206						
11	,283	1,048	91,254						
12	,273	1,012	92,266						
13	,229	,848	93,114						
14	,216	,801	93,915						
15	,197	,729	94,644						
16	,173	,640	95,283						
17	,155	,576	95,859						
18	,151	,559	96,419						
19	,144	,532	96,950						
20	,137	,506	97,456						
21	,132	,490	97,946						
22	,121	,448	98,393						
23	,109	,404	98,797						
24	,096	,355	99,153						
25	,087	,321	99,474						
26	,074	,272	99,746						
27	,069	,254	100,000						

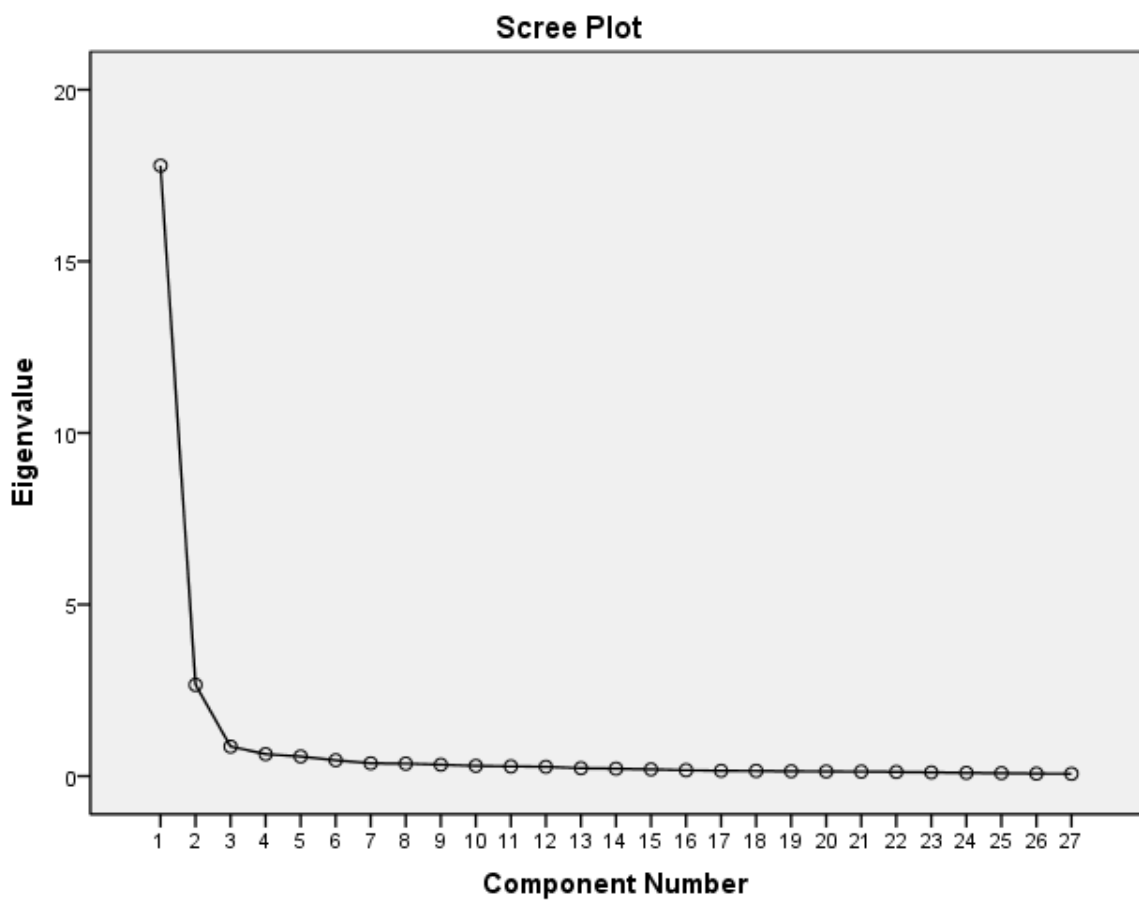


Figura 0.5. Scree plot dos 27 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.

## PDSI

**Quadro 0.9. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,963
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	27403,886
	df	351
	Sig.	,000

**Quadro 0.10. Variância explicada pelos 27 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	17,657	65,398	65,398	17,657	65,398	65,398	10,686	39,577	39,577
2	2,620	9,704	75,102	2,620	9,704	75,102	9,592	35,525	75,102
3	,953	3,528	78,630						
4	,678	2,510	81,141						
5	,564	2,088	83,228						
6	,440	1,629	84,857						
7	,414	1,532	86,390						
8	,332	1,231	87,621						
9	,323	1,198	88,818						
10	,317	1,176	89,994						
11	,300	1,110	91,104						
12	,263	,974	92,078						
13	,247	,915	92,993						
14	,241	,893	93,886						
15	,208	,772	94,658						
16	,173	,639	95,298						
17	,158	,583	95,881						
18	,155	,574	96,455						
19	,148	,548	97,003						
20	,135	,502	97,505						
21	,125	,464	97,969						
22	,115	,426	98,395						
23	,106	,392	98,788						
24	,104	,385	99,173						
25	,085	,315	99,488						
26	,074	,274	99,761						
27	,064	,239	100,000						

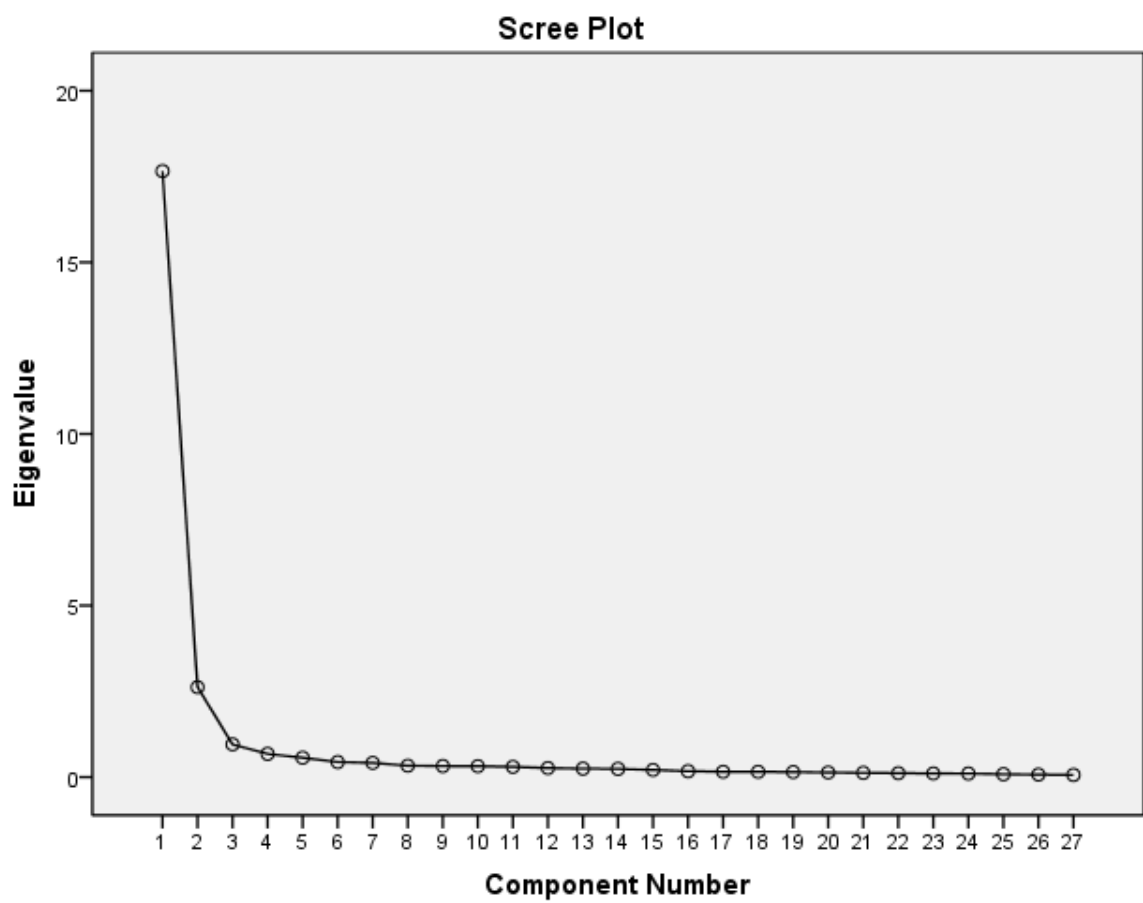


Figura 0.6. Scree plot dos 27 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.

## Precipitação com 9 variáveis

**Quadro 0.11. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,715
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1593,551
	df	36
	Sig.	,000

**Quadro 0.12. Variância explicada pelos 9 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,285	58,725	58,725	5,285	58,725	58,725	4,161	46,236	46,236
2	2,953	32,807	91,532	2,953	32,807	91,532	4,077	45,296	91,532
3	,384	4,262	95,793						
4	,217	2,406	98,200						
5	,126	1,405	99,604						
6	,022	,242	99,847						
7	,010	,116	99,963						
8	,002	,024	99,986						
9	,001	,014	100,000						

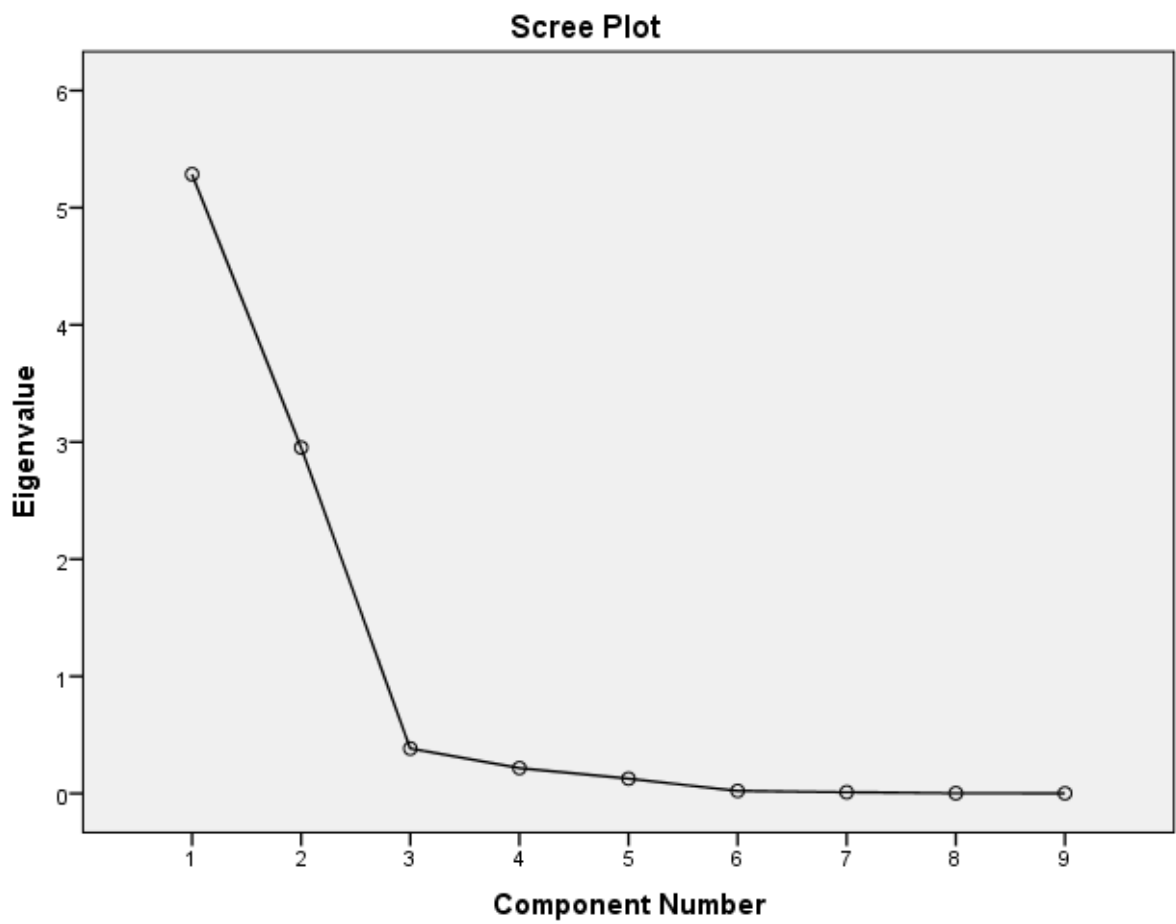


Figura 0.7. Scree plot dos 9 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.

## Precipitação com 5 variáveis

**Quadro 0.13. Estatística KMO e teste de KMO Bartlett.**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,790
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	774,551
	df	10
	Sig.	,000

**Quadro 0.14. Variância explicada pelos 5 componentes e dos dois primeiros componentes extraídos, com e sem rotação.**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,181	83,615	83,615	4,181	83,615	83,615	3,368	67,368	67,368
2	,736	14,720	98,335	,736	14,720	98,335	1,548	30,966	98,335
3	,062	1,237	99,572						
4	,016	,315	99,887						
5	,006	,113	100,000						

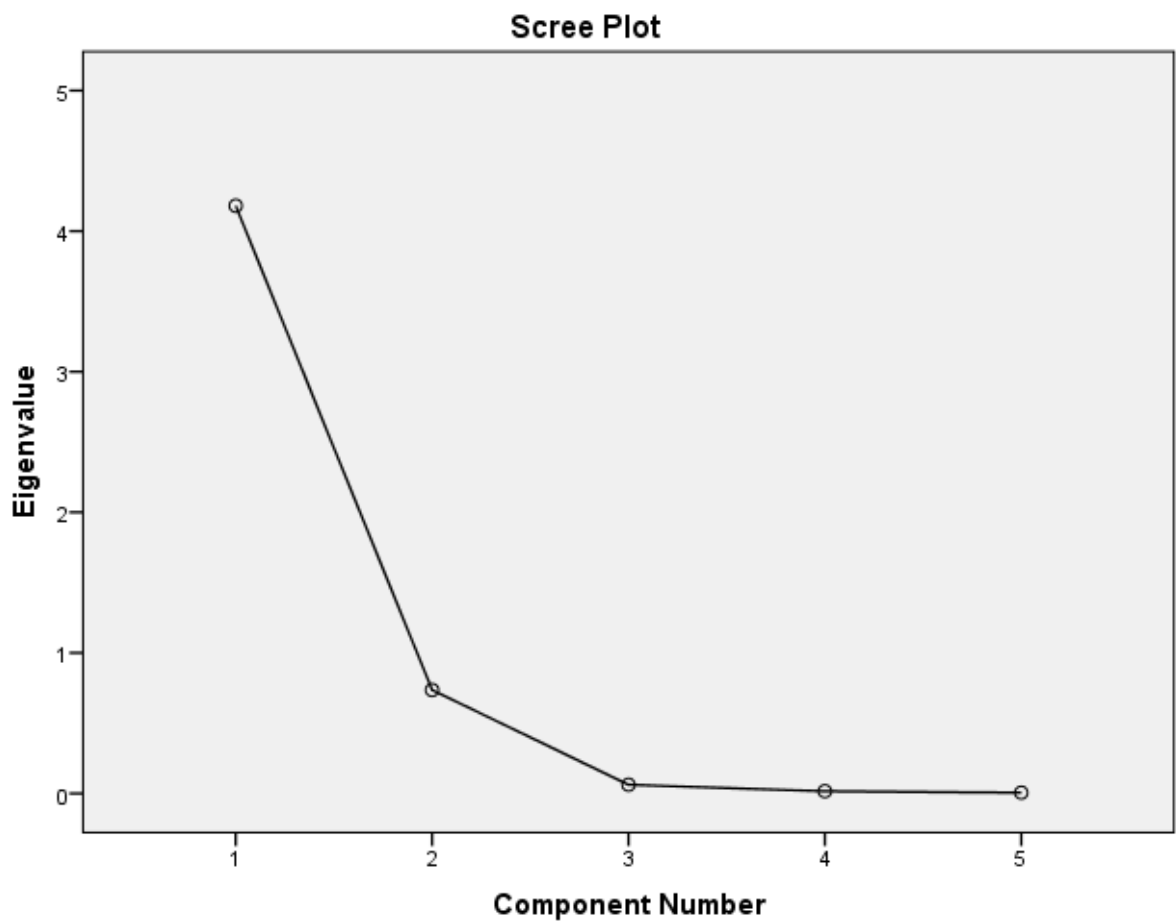


Figura 0.8. Scree plot dos 5 componentes que sugere a retenção dos dois primeiros componentes.