

VIGILÂNCIA, ACOMPANHAMENTO E PREDIÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS SECAS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Regina Esteves PIMENTA¹; Fernando PEIXINHO CRISTO²

RESUMO

A ocorrência de desastres naturais, particularmente de natureza meteorológica e com especial realce para as situações de seca, é um facto a que, frequentemente, Portugal Continental fica sujeito com implicações sócio-económicas de grande importância. Uma das consequências da seca que a longo prazo se revela mais dramática é a possibilidade desta poder estar na origem de processos de desertificação. Deste modo, as estratégias de controle de impactos de secas podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de controle de desertificação.

Estudos e dados disponíveis, sobre a problemática das situações com deficiência de água no nosso País, mostram que os casos de seca são bastante frequentes justificando-se plenamente a existência de *estratégias de controle de impactos e vigilância*, que permitam não só dar conta da situação, como informar da possibilidade e probabilidade do início e fim de uma situação de seca em Portugal Continental, bem como, o seu grau de severidade.

Nesta perspectiva, procede-se à análise das situações de seca em Portugal Continental, com base numa rede de estações climatológicas com séries mensais da quantidade de precipitação e temperatura média do ar com mais de 50 anos, efectua-se o balanço sequencial de água no solo usando um modelo de duas camadas e estabelece-se para Portugal Continental, o modelo-físico matemático que permita determinar o índice de severidade de seca, o qual será utilizado, no futuro, num possível sistema de vigilância das situações de seca.

Toda esta informação “compilada” num Sistema de Informação Geográfica (SIG), em associação com a componente espacial, permite uma adequada visualização e caracterização dos fenómenos de seca e de desertificação, o que constituirá um elemento chave para os responsáveis governamentais e dos sectores de actividade económica tomarem decisões adequadas que se impõem em tais situações.

Palavra-chave: Seca, Índice de Palmer, Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

¹ Eng^a Geógrafa - Direcção Regional do Ambiente do Centro, Coimbra, Portugal

² Lic. Geologia - Direcção Regional do Ambiente do Centro, Coimbra, Portugal

1 - INTRODUÇÃO

Não obstante casos extremos podemos dizer que, em muitas regiões do Globo, a água existente será suficiente se for convenientemente utilizada, e daí o interesse fundamental que assume o problema da gestão dos recursos hídricos, devendo ser dado especial destaque aos fenómenos que conduzem à sua escassez, nomeadamente aos crescentes problemas de seca e/ou desertificação que nos dias de hoje têm vindo, infelizmente, a acompanhar numerosos países do Mundo, e caso não sejam tomadas medidas urgentes, a situação tenderá a agravar-se acarretando consigo problemas sociais, económicos, ambientais e mesmo sanitários às populações afectadas.

A experiência das décadas mais recentes permite afirmar que, de uma maneira geral, as sociedades estão mal preparadas para enfrentarem secas. Devido às próprias características da seca, esta apenas é reconhecida tardiamente e, quando se chega a intervir, só se consegue uma limitada mitigação das suas consequências mais negativas.

Desta forma, sendo o fenómeno das secas um flagelo que afecta fortemente as actividades sócio-económicas, a preocupação dominante deverá ser a de acompanhar a situação, definir a sua gravidade e simular cenários da sua futura evolução. É neste sentido que terá todo o interesse o desenvolvimento de sistemas de vigilância em várias regiões do Globo, uma vez que poderão contribuir de forma benéfica para as questões sócio-económicas, pois permitirão disponibilizar aos vários responsáveis, elementos chaves para a tomada de decisões fundamentais no planeamento das acções nos diversos domínios de actividade económica desde a gestão dos recursos hídricos ao planeamento das actividades agrícolas e outras.

Resumindo, uma adequada previsão de secas que inclui-se a detecção do seu início, do seu fim e, conseqüentemente, a definição da duração da seca, seria de extrema importância para uma eficiente implementação de medidas mitigadoras dos seus efeitos.

2 - ANÁLISE DOS DADOS DISPONÍVEIS

No presente trabalho apresenta-se uma caracterização climática de Portugal Continental, pelo que neste ponto serão abordadas questões relativas aos dados disponíveis.

2.1 - Variabilidade espaço-temporal

Para analisar as características da distribuição espacial da temperatura e da precipitação, utilizaram-se os valores médios no período de 1961/90 (Instituto de Meteorologia), normais climatológicas de referência, tendo o cuidado de manter uma certa uniformidade na sua distribuição geográfica. As séries de precipitação e temperatura para o período utilizado, satisfazem as recomendações da Organização Meteorológica Mundial, constituindo informação climatológica útil.

2.2 - Estimativa dos valores em falta

2.2.1 - Precipitação

A análise espacial dos «valores médios no ano da quantidade total de precipitação», baseou-se nos valores das normais climatológicas de referência, correspondentes ao período de 1961/90 e relativos a 410 locais de Portugal Continental, correspondendo a 60 estações climatológicas e 370 postos udométricos.

Para as séries de valores mensais da quantidade de precipitação que apresentavam falhas de observação, houve que estimar os valores totais nos meses em falta, através da fórmula:

$$R_X = \frac{(N_X / N_A) R_A + (N_X / N_B) R_B + (N_X / N_C) R_C}{3} \quad (1)$$

em que:

R_X - valor estimado da quantidade de precipitação na estação X no mês em falta;

N_X - valor “normal” da quantidade anual da precipitação na estação X;

N_A, N_B, N_C - valores “normais” da quantidade de precipitação anual nas estações A, B e C, respectivamente, mais próximos da estação X;

R_A, R_B e R_C - os valores da quantidade de precipitação nas estações A, B e C.

2.2.2 - Temperatura

A análise dos valores médios da temperatura do ar, no ano, baseou-se na informação das normais climatológicas de referência correspondente ao período 1961/1990 e relativa a 60 estações climatológicas.

Foram estimados os valores em falta no período considerado, recorrendo ao método das diferenças entre os valores observados em duas estações próximas A e B. A diferença *dif*, pode obter-se através da relação (WMO, 1983):

$$\sum_{i=1}^N ((b_i - a_i)) / N \quad (2)$$

com $i = 1, \dots, j, \dots, N$ sendo N o número de anos.

O valor b_j (valor em falta na estação B) será obtido (reconstituído) usando o correspondente valor de a_j em A e adicionando as diferenças.

Após o preenchimento das falhas, foi possível obter um registo contínuo de 30 anos, desde 1 de Janeiro de 1961 até 12 de Dezembro de 1990, para todas as estações e postos seleccionados.

3 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTUGAL CONTINENTAL

3.1 - Considerações Gerais

O território de Portugal Continental fica situado na zona temperada do hemisfério norte, sensivelmente entre os paralelos 37° N e 42° N e o seu clima reflecte esta situação geográfica através de duas influências: a mediterrânea e a atlântica.

A influência mediterrânea faz-se sentir principalmente no Verão e nas Regiões Sul e Este do território, ocasionando elevadas temperaturas e reduzidos valores de precipitação.

A influência atlântica faz-se sentir principalmente no Inverno e nas Regiões do Noroeste do território e é responsável por valores de precipitação relativamente elevados e pela atenuação dos efeitos dos ventos secos e frios provenientes do interior da Península.

Assim, durante o Inverno, o território, em, particular a região Norte, está sob a influência das depressões subpolares, com mudanças de tempo frequentes, originadas pela passagem eventual de depressões. Ocasionalmente e ainda durante o Inverno, o território está sob a influência do Anticiclone dos Açores, com ar tropical marítimo transformado em ar polar continental quente e seco de origem superior.

Em Portugal, dominam, em geral, ventos suaves do quadrante sul, enquanto as regiões da orla mediterrânea são submetidas a ventos frescos, do quadrante norte. Mas Portugal, fica frequentemente sob a acção de depressões que circulam para NE, numa trajectória que segue o eixo do continente europeu. É então que as consequências climáticas da posição atlântica de Portugal se manifestam claramente. As depressões trazem não só temperaturas tépidas mas também abundantes chuvas invernais em todo o País. A sua acção enfraquece no entanto para o interior, dominado por pressões mais elevadas, de maneira que diminuem nesta direcção, no Inverno, não só a precipitação, mas também as temperaturas médias, o número de dias de chuva e a humidade relativa.

Merecem ainda atenção os contrastes climáticos que resultam directamente do relevo, que acentua naturalmente os causados pelo carácter continental da Península. A altitude faz baixar as temperaturas das Mesetas, principalmente da Meseta Norte. As estações portuguesas registam temperaturas de Verão muito mais baixas do que as estações da Meseta situadas à mesma latitude, mas a muito maior altitude. No Inverno, pelo contrário, a diferença de altitude acentua o contraste térmico devido à continentalidade.

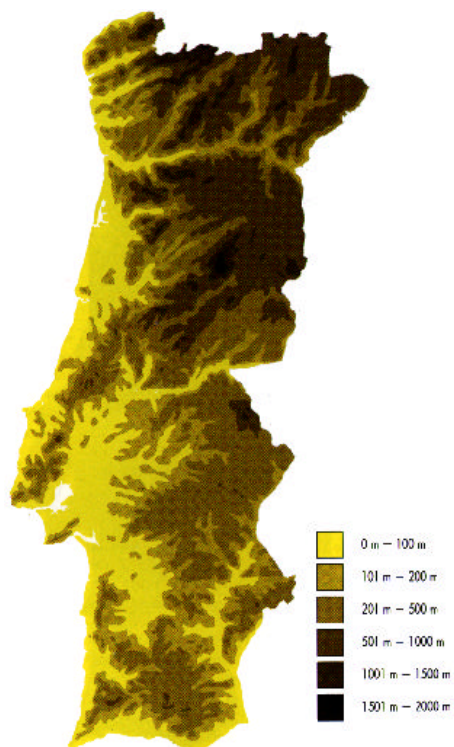


Figura 1 - Carta hipsométrica

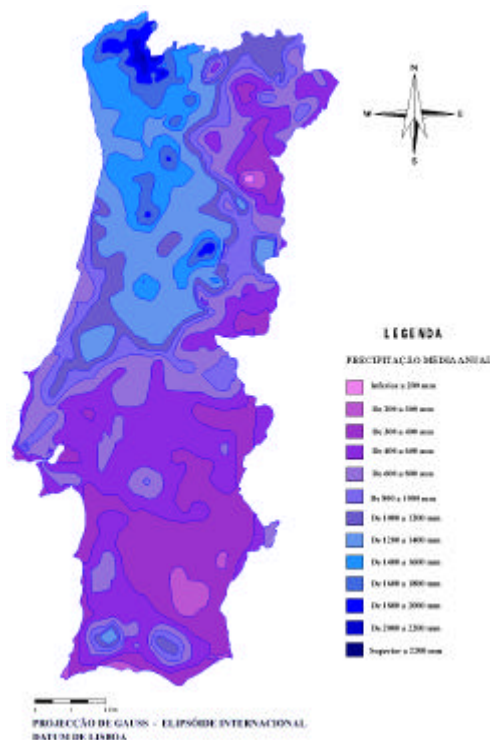


Figura 2 - Carta da precipitação média anual (61-90)

Às zonas de maior altitude correspondem também os maiores valores de precipitação, os quais, por outro lado, diminuem à medida que se avança para o interior. Este facto é evidenciado pela análise comparativa da carta hipsométrica (Figura 1) e carta de isolinhas da precipitação média anual (61-90) (Figura 2). A sul do rio Tejo, a escassez de relevos importantes permite que grandes massas de ar atinjam o interior da Península Ibérica, sem grande perda de humidade. Entretanto, mesmo nesta região as zonas de maior precipitação são determinadas pela influência de pequenos relevos.

3.2 - Classificação Climática

De acordo com a classificação de KÖPPEN (1936) que se baseia nos valores médios da temperatura do ar e da quantidade de precipitação, e na distribuição correlacionada destes dois elementos pelos meses do ano, o clima de Portugal Continental apresenta as formas climáticas **Csa**, isto é, clima temperado (mesotérmico) com Inverno chuvoso e Verão seco (mediterrânico) e quente (temperatura média do ar no mês mais quente superior a 22°C) e **Csb**, idem com Verão pouco quente (temperatura média do ar no mês mais quente entre 10° e 22°C, conforme figura que se apresenta a seguir.



Figura 3 - Classificação Climática de Köppen

3.2.1 Precipitação

A precipitação média anual em Portugal Continental é da ordem dos 900 mm e apresenta, grande variabilidade espacial, com os maiores valores (cerca de 3000 mm) nas terras altas da região noroeste (Minho) e os menores valores na faixa litoral Sul e na parte sueste do Alentejo e na Terra Quente de Trás-os-Montes, inferiores a 500 mm; apresenta também grande variabilidade interanual, com os anos mais chuvosos a registar valores de precipitação anual superiores a duas e três vezes os valores da precipitação nos anos mais secos.

3.2.2 Temperatura média do ar

A temperatura média anual do ar é de cerca de 15°C e os valores médios mensais, variam regularmente durante o ano com um máximo em Agosto e um mínimo em Janeiro.

3.3 Variabilidade climática

A variação da temperatura média do ano, no período de 1961/90 (Figura 4) relativamente ao período de 1931/60, não apresenta diferenças significativas; em particular verifica-se um aumento dos valores da temperatura média do ar no Outono e Inverno e uma diminuição na Primavera.

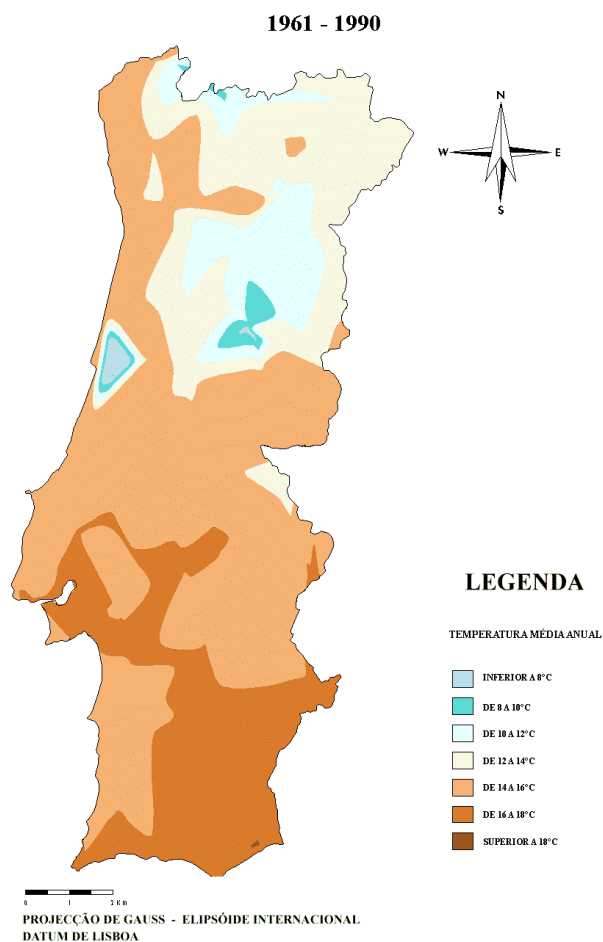


Figura 4 - Carta da temperatura 61/90

A análise da variabilidade temporal e espacial da quantidade de precipitação em Portugal Continental, permite também concluir que a diminuição significativa dos valores da quantidade de precipitação na primavera, tem maior expressão na Beira Interior e no Alentejo.

3.4 Vulnerabilidade climática

Portugal é um país de contrastes, não só ao nível topográfico e climático, mas também ao nível de ecossistemas.

A situação geográfica do território de Portugal Continental é favorável à ocorrência de episódios de seca, quase sempre associados a situações de bloqueio em que o anticiclone subtropical de Atlântico Norte se mantém numa posição que impede que as perturbações da frente polar atinjam a Península Ibérica.

Portugal está também sujeito a ondas de calor, isto é, a grandes sequências de dias com valores de temperatura do ar muito elevados. A ocorrência destes valores e de baixos valores da humidade relativa do ar, associada a condições de vento favoráveis, dá origem a inúmeros incêndios florestais de grandes dimensões, que devastam amplas áreas de coberto vegetal, localizadas em áreas de acentuados declives e sujeitas a erosão. Os fogos florestais dão origem a graves problemas ambientais, para além das perdas económicas e sociais. Com efeito, a sua acção atinge não só as componentes abióticas e bióticas dos ecossistemas florestais, mas as condições ambientais em geral. Entre os efeitos sobre os factores abióticos contam-se os impactes sobre o solo, a água e o ar; entre os bióticos são sobretudo importantes as alterações que os incêndios introduzem sobre os estratos arbóreos, sobre a flora e a fauna associadas e sobre sanidade da floresta.

4 - DEFINIÇÕES E IMPACTES DE SECA.

As pesquisas realizadas nos anos 80 por DONALD A. WILHITE (1995), director do “National Drought Mitigation Center” e MICHAEL H. GLANTZ (1985), do “National Center for Atmospheric Research”, revelavam publicamente mais de 150 definições de seca. As definições reflectem diferenças entre regiões, necessidades e abordagens disciplinares. WILHITE e GLANTZ categorizaram a sua colecção de definições em quatro perspectivas básicas de medição de secas: meteorológica, hidrológica, agrícola e socio-económica. As primeiras três dizem respeito à seca enquanto fenómeno físico e a última baseia-se em termos de oferta e procura da água, resultante da escassez de precipitação.

Seca Meteorológica é usualmente definida com base em graus de secura (em comparação com os valores “normais” ou médios) e duração do período seco, ou ainda, indica um afastamento dos valores normais de precipitação durante um determinado período de tempo. As definições de seca meteorológica devem ser consideradas como específicas por região, dado que as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação são altamente variáveis em termos regionais.

Seca Agrícola ocorre quando não existe suficiente humidade no solo que permita uma determinada colheita num determinado momento. A agricultura é geralmente o primeiro sector económico a ser afectado pela seca. Uma boa definição de seca agrícola deve ser capaz de contabilizar a susceptibilidade variável das colheitas durante as suas diferentes fases de desenvolvimento.

Seca Hidrológica refere-se a deficiências no fornecimento de água à e abaixo da superfície. É medida com base em níveis de cursos de água, de lagos, reservatórios ou lençóis de água. Quando a precipitação é reduzida ou insuficiente durante um longo período de tempo, este encurtamento reflectir-se-á na descida dos níveis de água e sob a superfície.

Seca Sócio-económica acontece quando a redução do volume de água começa a afectar pessoas, individual ou colectivamente. Em termos mais abstractos, a maioria das definições de seca associa tal facto à oferta e procura de um bem económico. Há quem afirme que uma redução do volume de água sem impactos sócio-económicos é um sucesso político.

Sequência dos impactes de Seca

A sequência dos impactes associada à seca meteorológica, agrícola e hidrológica, enfatiza ainda mais as suas diferenças. Quando a seca se inicia, o sector agrícola é geralmente o primeiro a ser afectado devido à sua grande dependência de água armazenada no solo. A água do solo pode ser rapidamente esgotada durante longos períodos secos. Se os déficits de precipitação forem continuados, então pessoas dependentes de outras fontes de água começarão a sentir os efeitos da ausência. Aqueles que dependem da água de superfície (i.e. reservatórios, lagos) e da água presente no subsolo (i.e. lençóis de água), por exemplo, são na generalidade os últimos a ser afectados. Uma seca de termo curto que persista por 3 a 6 meses pode ter um pequeno impacte nestes sectores, dependendo das características do sistema hidrológico e dos requisitos de uso da água.

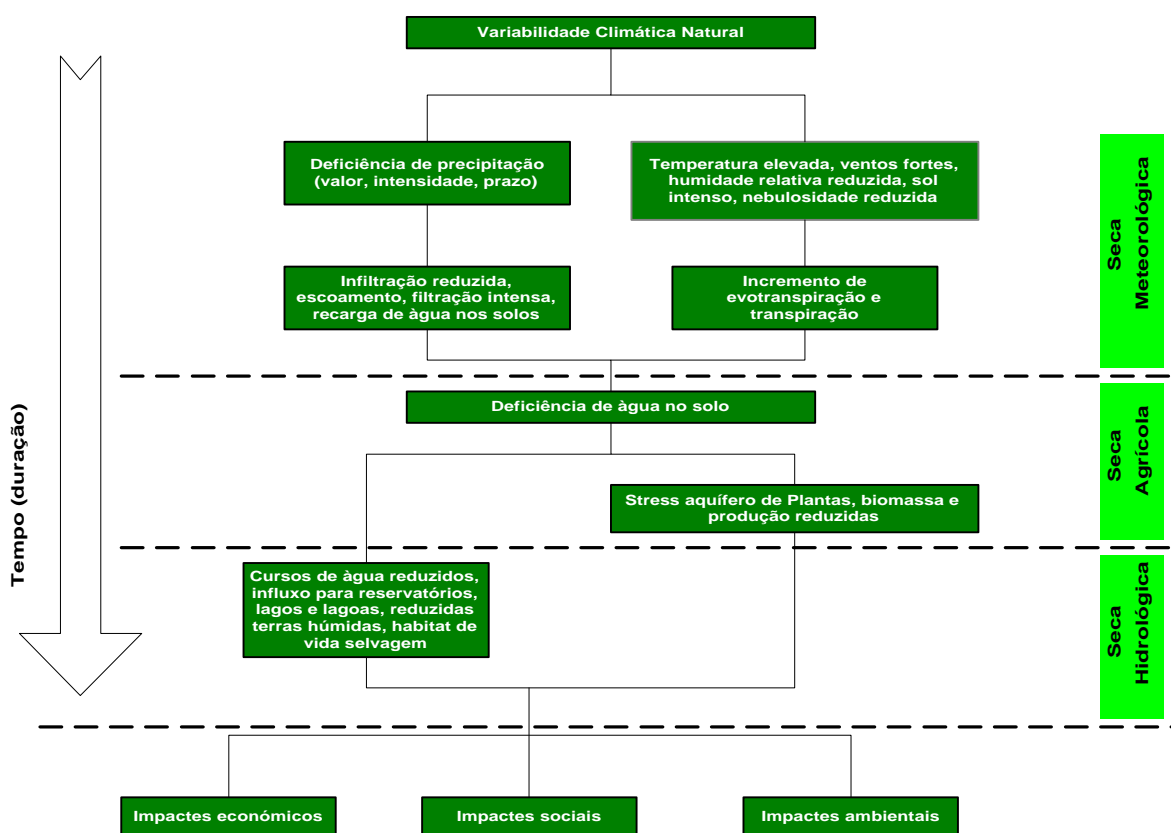


Figura 5 - Impactes provocados pela seca

5 - METODOLOGIA

Um dos objectivos fundamentais do trabalho, consistiu na elaboração de uma base de dados georeferenciada e de um sistema de informação geográfica que permiti-se armazenar, gerir e representar informação relevante para a caracterização das secas em Portugal Continental, contribuindo para a tomada de decisões fundamentais no planeamento de diversas actividades económicas. O sistema utilizado foi o “software” ARC/INFO, tendo sido implementada uma base de dados com informação relativa, quer aos dados meteorológicos de temperatura e precipitação para o período de 1941/92 (Instituto de Meteorologia), quer aos valores resultantes da aplicação do método de PALMER que se descreve a seguir.

Começa-se por determinar a quantidade de precipitação que deveria ter ocorrido numa dada área durante um dado período de tempo, de maneira que o estado do tempo tivesse sido normal no sentido de que o fornecimento de água ao solo durante esse período, satisfaça a média climaticamente esperada, dos requisitos de água no solo para o desenvolvimento normal das actividades estabelecidas na área. Sob o ponto de vista hidrológico e agrícola, a questão está em saber qual a quantidade de precipitação que deveria ter ocorrido durante um dado período, para que se conservem assim normalmente as fontes de água na área considerada. Depois de determinar a precipitação que deveria ter ocorrido, pode-se compara-la com a precipitação que realmente ocorreu e assim ter uma medida do desvio do fornecimento de água no solo em relação ao fornecimento “normal” ou climaticamente apropriado. A obtenção de excessos ou deficiências em alguns períodos não resolve o problema, pois o factor duração é de extrema importância, pelo que deve ser considerado. Estes desvios também não constituem uma série de uma simples população: desvios de um mês diferente para o mesmo local; desvios para um outro mês e para um local diferente representam outra população diferente.

A fim de se obter um índice de seca relativamente independente do espaço e do tempo, a estes vários desvios deverão ser atribuídos “pesos”, de tal maneira que possam ser tomados como índices de anomalia de água no solo. A parte final do problema é a combinação dos índices de anomalia de água no solo para a obtenção dum índice de seca. Uma vez obtido o índice de seca para diferentes locais, atinge-se o nosso objectivo que é a determinação dos períodos secos, que ocorrem em Portugal Continental desde há alguns anos atrás, assim como a sua duração e a sua intensidade.

Dados, Técnicas e Análise usados no tratamento destes dados

Utilizaram-se 37 estações climatológicas e 52 postos udométricos (Instituto de Meteorologia), distribuídos por todo o território, na caracterização das secas em Portugal Continental, correspondente a um período de 1941/92.

As falhas existentes foram preenchidas através da mesma metodologia referida no **ponto 2.2**, para dados de precipitação e de temperatura, respectivamente.

Pelo método de THIESSEN, determinaram-se as médias espaciais da temperatura do ar e da precipitação, numa base mensal, para um dado período (1941-1992), através de software apropriado - ARC/INFO. Utilizaram-se as médias de áreas, para evitar a variabilidade extrema do estado do tempo em casos pontuais.

Para o estudo das secas seguiu-se o método do balanço hídrico mensal sequencial e o modelo das duas camadas do solo usado por PALMER (1965). Utilizou-se o método de THORNTWAITE (1957) para o cálculo da evapotranspiração potencial.

As duas camadas do solo foram definidas arbitrariamente: uma camada superficial de pequena espessura, equivalente à camada arável, que se admite conter 25 mm de água utilizável se a capacidade de campo estiver preenchida, camada onde cai a precipitação e tem lugar a evaporação; e outra camada de solo, a da zona das plantas e que depende da profundidade e do tipo de solo. Em geral, para os solos de Portugal Continental e para o tipo de vegetação existente, admitimos que esta camada tem uma capacidade de água utilizável de 125 mm.

Na avaliação de água no solo admite-se que a evapotranspiração (ETR) se efectua a partir da camada superficial, até que toda a água no solo desta camada seja removida, e somente depois afecte a camada mais profunda. Igualmente se admite que não há recarga de água no solo da camada mais profunda, enquanto a camada superficial não estiver saturada. Admite-se também, que a perda de água no solo, assim como de evapotranspiração potencial (ETP) calculada e da capacidade de água utilizável para o conjunto das duas camadas (CAP):

Assim teremos:

$$PES=ASS' \text{ ou } PES=ETP-R \quad (3)$$

conforme for menor ASS' ou (ETP-R)

$$\text{e} \quad PEZR=(ETP-R-PES) ASZR'/CAP, \text{ com } PEZR \leq ASRZ' \quad (4)$$

onde:

PES - perda de água do solo da camada superficial;

ASS' - água disponível no solo, armazenada na camada superficial no início de cada mês;

ETP - evapotranspiração potencial no mês;

R - precipitação no mês;

PEZR - perda de água do solo da camada principal (camada mais profunda, a da zona de raízes);

ASZR' - água no solo disponível, armazenada no início do mês na camada principal;

CAP - capacidade de água utilizável do conjunto das duas camadas.

Também se admite que nenhum escoamento ocorre antes das duas camadas atingirem a capacidade de campo, isto é, só há escoamento se as duas camadas tiverem a capacidade de campo preenchida. Há outros parâmetros que, embora não usados no cálculo do balanço hídrico, têm de ser determinados, pois são necessários mais tarde para o cálculo das constantes ou coeficientes climáticos a que se refere o método utilizado. São eles:

Recarga potencial de água no solo (REP) - é definida como a quantidade de água necessária para levar o solo à capacidade de água utilizável.

$$REP = CAP - AS' \quad (5)$$

em que:

AS' - quantidade de água disponível no solo em ambas as camadas no início do mês.

Perda potencial de água no solo (PEP) - é definida como a quantidade de água disponível no solo, que poderá ser perdida pelas duas camadas, desde que seja nula a precipitação durante o período considerado.

$$PEP = PEPS + PEPZR \quad (6)$$

em que:

PEPS - perda potencial da água do solo da camada superficial

PEPZR - perda potencial da água do solo da camada principal

onde PEPS = ETP ou PEPS = ASS' conforme for menor ETP ou ASS'

$$PEPZR = (ETP - PEPS) ASZR' / CAP \quad (7)$$

Escoamento potencial da água no solo (CEP). O escoamento máximo que poderá ocorrer numa dada situação (admitindo ETP = 0 e seguindo as regras do balanço hídrico) deverá ser igual à precipitação menos a quantidade de água que poderá ser fornecida ao solo. No entanto, neste trabalho esta noção não deverá ser utilizada em virtude da precipitação real não ser introduzida nesta fase. Pode admitir-se que o escoamento é menor quando a recarga potencial é grande, e é maior quando o solo já igualou a capacidade de campo e a recarga é nula. Pode-se verificar pela equação (5), que a recarga potencial é maior quando a água no solo disponível no início do mês for menor, e vice-versa. Desta forma, pode-se admitir que o escoamento potencial (CEP) é uma função da quantidade de água no solo disponível que se pode exprimir pela seguinte expressão:

$$CEP = CAP - REP = AS' \quad (8)$$

Uma vez calculados estes valores potenciais, é possível relacioná-los com os resultados do balanço hídrico e obter um conjunto de constantes ou coeficientes, úteis para o cálculo da precipitação apropriada para a área em estudo. Assim temos:

Coefficiente de evapotranspiração (α)

Em climas húmidos, a evapotranspiração (ETR) em geral é igual à evapotranspiração potencial (ETP), no entanto, em climas secos o normal é a evapotranspiração ser ligeiramente inferior à evapotranspiração potencial. Este facto pode ser usado para estimar a evapotranspiração que se pode esperar para um dado clima. Este coeficiente pode ser calculado pela razão das médias mensais de evapotranspiração e de evapotranspiração potencial num período longo e numa dada região.

$$\alpha = \overline{ETR} / \overline{ETP} \quad (9)$$

Coeficiente de recarga (β)

Assim como a evapotranspiração (ETR) não pode exceder a evapotranspiração potencial (ETP), também a recarga (RE) não pode exceder a recarga potencial (REP), sendo substancialmente menor que a potencial, excepto em climas húmidos a super-húmidos e em áreas de pequena capacidade de armazenagem de água. A razão das médias mensais, num período longo, da recarga de água no solo (RE) e da recarga potencial do solo (REP) é chamado coeficiente de recarga, e é dado pela expressão:

$$\beta = RE/REP \quad (10)$$

Coeficiente de escoamento (γ)

Como vimos pela expressão (8), o escoamento potencial (CEP) está relacionado com a quantidade inicial de água disponível no solo. O coeficiente de escoamento é dado pela equação:

$$\gamma = \overline{CE} / \overline{CEP} = \overline{CE} / \overline{AS'} \quad (11)$$

Coeficiente de perda (δ)

De maneira semelhante aos coeficiente anteriores, o coeficiente de perda é dado pela razão das médias mensais num período longo, da perda de água do solo (PE) e da perda potencial de água do solo (PEP), conforme a seguinte expressão:

$$\delta = \overline{PE} / \overline{PEP} \quad (12)$$

Uma vez calculados estes coeficientes, pode-se agora estimar a evapotranspiração, a recarga, o escoamento, a perda e a precipitação, apropriados para as condições normais existentes (do estado do tempo e das actividades económicas) na região. Estes parâmetros são calculados respectivamente, através das seguintes expressões:

$$ERCE = \alpha * ETP \quad (13)$$

$$RECE = \beta * REP \quad (14)$$

$$CECE = \gamma * CEP \quad (15)$$

$$PECE = \delta * PEP \quad (16)$$

$$RCE = ERCE + RECE + CECE - PECE \quad (17)$$

Temos assim, pela expressão (17), a estimativa da quantidade de precipitação que teria que manter as fontes de água da área a um nível apropriado para a actividade económica da região. A forma como cada uma das componentes da precipitação apropriada (ou estimada) é determinada, indica-nos que cada uma delas tem um valor médio igual ao valor médio dos respectivos parâmetros, numa série longa. Por exemplo:

$$ERCE_i = \alpha ETP_i = \frac{\sum_{i=1}^n (ETR)}{\sum_{i=1}^n (ETP)} * ETP_i \quad (18)$$

e

$$\sum_{i=1}^n (ERCE) = \frac{\sum_{i=1}^n (ETR)}{\sum_{i=1}^n (ETP)} * \sum_{i=1}^n (ETP) \quad (19)$$

donde se tira:

$$\sum_{i=1}^n (ERCE) = \sum_{i=1}^n (ETR) \quad (20)$$

Isto quer dizer, que a média para uma série longa de anos da evapotranspiração estimada (ERCE), para um dado mês e para uma dada região é igual ao valor da evapotranspiração (ETR) calculada para a mesma série, pelo balanço hidrológico.

Em algumas ocasiões pode-se obter uma precipitação estimada (RCE) negativa, mas isto ocorre apenas quando o tempo tenha sido muito chuvoso durante uma estação em que é normalmente seco. Estes valores negativos significam que o tempo passado foi tão chuvoso que a região permanece anormalmente molhada para o mês seguinte, mesmo que nenhuma precipitação caia durante o mês.

Excessos e deficiências de precipitação

Uma vez calculada (RCE) para cada mês numa série de dados, a diferença entre a precipitação real R e a precipitação estimada (RCE), dá um desvio da normal da água disponível no solo.

$$d = R - RCE \quad (21)$$

Característica climática (K)

Através da prática estatística, é evidente que um determinado desvio, dado pela expressão (21) significa diferentes coisas para diferentes lugares e para diferentes épocas. Isto sugere que a importância ou significado de cada desvio, depende do clima normal para o mês e para o local considerado.

Palmer determinou um factor peso ou característica climática (K), para cada mês e para uma área, através da sequência de expressões:

$$K1 = (ETP + RE)/(R + PE) \quad (22)$$

que representa a razão entre a procura média de água no solo e o fornecimento médio de água no solo. Estes valores K1, são uma primeira aproximação de K e representam medidas, de significado local, dos desvios de água utilizável do solo. Contudo estes factores não dão bons resultados, pelo que é necessário calculá-los numa base mais geral. PALMER determinou K pela equação (22) para duas áreas climaticamente semelhantes, quando aplicado a climas muito diferentes, obtêm-se valores incorrectos da medida do desvio de água do solo. PALMER conseguiu então obter, uma fórmula logarítmica para o cálculo dos valores de K, resultando na seguinte expressão:

$$K2 = 1,5 \log_{10} \{ [(ETP + RE + CE)/(R + PE) + 2,8]/D \} + 0,5 \quad (23)$$

com $D = |R - RCE|$

Aplicando esta expressão empírica a cada um dos 12 meses do ano, em cada um dos locais, obtêm-se depois de alguns ajustamentos, o valor final K através da expressão

$$K = 448,4 K2 / \sum (K2 * D) \quad (24)$$

Índice de anomalia de água no solo (Z)

Os valores mensais K's foram calculados pelas fórmulas (20 e 22) e usados como factores de peso para cada um dos desvios mensais (d) obtidos pela expressão (21). Assim, se se multiplicar estes desvios pelos factores K, obtêm-se um índice numa base mensal, que dá a ideia de água utilizável no solo em relação ao clima médio da região em estudo.

Assim, se tem:

$$Z = K*d \text{ em que K é calculado por (22)} \quad (25)$$

e $Z = K*d \text{ em que K é calculado por (24)} \quad (26)$

Os valores calculados por (25) e (26) não são expressos em milímetros, como são os valores $D=R-RCE$. Porque são devidamente pesados, cada um deles exprime, numa base mensal e do ponto de vista da água no solo, o desvio da média das condições do tempo para o mês. O valor Z é designado como “índice de anomalia da água no solo”.

O cálculo dos diversos parâmetros, coeficientes e grandezas referidos ao longo deste trabalho, foi elaborado um programa em linguagem FORTRAN.

Equação para o cálculo da severidade da seca (Índice de seca X)

Temos que entrar em consideração com o factor tempo, pois na maior parte dos casos, segundo HILDRETH e THOMAS, não é o primeiro ano de fraca precipitação que é desastroso para a agricultura, mas sim os períodos prolongados de 2, 3 ou 4 anos consecutivos. O mesmo se aplica aos aspectos hidrológicos da seca.

Assim, se queremos fazer uma distinção entre graus ou classes de seca, temos de entrar com a duração da anomalia de água no solo, neste caso com a duração dos períodos anormalmente secos.

O Departamento de Agricultura e o Serviço Meteorológico dos Estados Unidos, adoptaram a seguinte classificação de secas: fraca, moderada, severa e extrema. Embora não haja uma classificação satisfatória para essas expressões, admitiu-se que, se ocorreu uma seca extrema em alguns locais em estudo, durante um dos períodos mais secos, podemos descrever a seca extrema, em termos de acumulação do índice de anomalia de água no solo.

Podemos marcar num gráfico os pontos correspondentes aos referidos períodos mais secos. Este gráfico terá por abcissas os intervalos de tempo (meses) e por ordenadas os índices mensais acumulados de anomalia de água no solo ($\Sigma ZIND1$), que a partir daqui, designamos por ΣZ , para simplificar.

Teremos uma equação da família de rectas, que nos define as classes de secas. Verifica-se que uma situação pouco normal e extremamente seca ocorre quando $\Sigma Z = -340,00$ para $t = 1$ mês e quando $\Sigma Z = -140,00$ para $t = 38$ meses. A partir dos pontos ($Z1 = -340,00$ e $t1 = 1$) e ($Z2 = -140,00$ e $t2 = 38$), obtemos a equação da recta

$$Z = -28,65t - 311,35 \quad (27)$$

Tira-se, que

$$X_i = \frac{\sum_{t=1}^i Z_t}{7,1625t + 77,8375} \quad (28)$$

o que representa a equação da família de rectas e que nos dá a severidade da seca (X_i).

Determinação dos incrementos mensais da severidade da seca

A equação (28) é apenas uma primeira aproximação, visto ela ser baseada na soma algébrica dos índices Z , em vários períodos de tempo. No entanto, este procedimento cumulativo faz com que o efeito dum único mês (por exemplo um mês muito chuvoso numa

série longa de meses secos) possa reflectir-se naquela soma em anos posteriores. Ora isto não é realista, visto que um mês chuvoso num dado Verão, não deverá Ter, no Verão seguinte, grande influência na severidade duma seca que tenha continuado. Assim, temos de olhar para o problema numa base incremental, de tal maneira que cada mês seja avaliado em termos da sua contribuição para a severidade da seca. Assim, fazendo $i=1$ e $t=1$ na equação (28) temos:

$$X_1=Z_1/85 \quad (29)$$

Considerando que este é o mês inicial, temos:

$$X_1-X_0=\Delta X_1=Z_1/85 \quad (30)$$

Temos de ter em consideração que basta uma certa quantidade de secura anormal ($Z<0$) para em sucessivos meses se manter a severidade do período seco que está a decorrer. É claro que uma seca extrema não continuará nesta categoria se os meses seguintes forem normais ou ligeiramente mais secos do que o normal. Assim, o problema será o de determinar a quantidade de secura necessária para manter uma seca de dada severidade, isto é, calcular a secura para $\Delta X=0$. Da equação (28) verificamos que $\sum Z_t$ deve aumentar quando t aumenta, a fim de manter um dado valor de X . A taxa de aumento é constante, isto é, t aumenta de uma unidade, ao passo que o denominador da equação (28) aumenta de 7,1625. A taxa à qual o índice Z deve aumentar, a fim de manter um valor constante de X ($\Delta X=0$), depende do valor de X que está a ser mantido. Conclui-se daqui que, para todos os meses que se seguem a um mês inicial seco, deve ser adicionado um termo à equação (30):

$$\Delta X_i=(Z_i/85)+CX_{i-1} \quad (31)$$

onde:

$$\Delta X_i=X_i-X_{i-1}$$

Para a determinação da constante C , parte-se de dois valores arbitrários de X_{i-1} , de X_i e de t e dos valores de Z_i que manterão, mês a mês, um dado valor de X (Quadro I).

Quadro I

Quantidade de secura anormal necessária para manter uma dada severidade de seca

t	X_{i-1}	$\sum_{t=1}^{i-1} Z_t$	ΔX_i	X_i	$\sum_{t=1}^i Z_t$	Z_i
2	-1,0	-85,00	0	-1,0	-92,1625	-7,1625
10	-1,0	-142,30	0	-1,0	-149,4625	-7,1625
2	-3,0	-255,00	0	-3,0	-276,4875	-21,4875
10	-3,0	-426,90	0	-3,0	-448,3875	-21,4875

Deste quadro e da equação (31) tira-se

$$0=(-7,1625/85)-1,0C$$

$$0 = (-21,4875/85) - 3,0C$$

donde:

$$C = -0,084$$

e a equação final que nos dá o índice de seca mensal é:

$$X_i = X_{i-1} + (Z_i/85) - 0,084X_{i-1} \quad (32)$$

Esta fórmula pode também ser aplicada à determinação de períodos chuvosos. Apresentam-se no quadro seguinte as classes dos períodos secos e chuvosos em função do índice de seca X.

Quadro II

Classes dos períodos chuvosos e dos períodos secos

<i>Índice de seca</i>	<i>Classes</i>
≥ 4.00	Extremamente chuvoso
3.00 a 3.99	Muito chuvoso
2.00 a 2.99	Moderadamente chuvoso
1.00 a 1.99	Ligeiramente chuvoso
0.50 a 0.99	Período chuvoso incipiente
0.49 a -0.49	Normal
-0.50 a -0.99	Período seco incipiente
-1.00 a -1.99	Ligeiramente seco
-2.00 a -2.99	Moderadamente seco
-3.00 a -3.99	Muito seco
£ -4.00	Extremamente seco

Determinação do fim de seca (ou período chuvosos)

Segundo o quadro anterior, uma seca termina quando o índice de seca atinge valores entre -1,0 e 0,0. Para evitar dividir longos períodos secos em alguns curtos períodos secos mal definidos, admitiu-se o valor do índice $X = -0,50$ como sendo o mais aconselhável para o termo definitivo duma seca. Assim, logo que o índice X atinja valores entre -0,50 e +0,50, considera-se que não há seca nem período chuvoso. Portanto, o problema da determinação do fim de uma seca está em saber qual a quantidade de água no solo necessária para reduzir a severidade de uma seca a -0,50. Se fizermos $X_i = -0,50$ na equação (32), obtemos um valor de Z_i

$$Z_i = -77,86X_{i-1} - 42,50 \quad (33)$$

que designamos por ZE e representa o valor do índice de anomalia de água no solo, que terminará uma seca num único mês. Mas, ao concluirmos que uma seca terminou definitivamente quando $X = -0,50$, estamos também a admitir que deve haver um valor mais pequeno de Z que ocorra mês após mês e corresponda eventualmente a $X = -0,50$. Assim,

quando isto sucede, $\Delta X=0$ e $X_{i-1}=-0,50$ e, pela equação (32), obtemos $Z=-3,57$. Este valor de Z indica que um período seco pode terminar mesmo que o tempo seja ligeiramente mais seco do que o normal. Portanto, qualquer valor de $Z \geq -3,57$ tenderá a terminar uma seca, sendo a “humidade efectiva” (UW) dada pela equação:

$$UW=Z+3,57 \quad (34)$$

Uma vez instalada definitivamente uma seca ($X \leq -1,00$), a equação (34) aplica-se ao primeiro mês “chuvoso”, isto é, ao primeiro mês em que $Z \geq -3,57$, devendo calcular-se para cada mês o valor de UW , até se atingir uma probabilidade de 0% ou de 100% de que a seca tenha terminado. Se o valor de ZE necessário para terminar uma seca no primeiro mês chuvoso é maior do que UW , para aquele mês, a severidade da seca diminuirá, mas esta não terminará. No segundo mês o valor para a seca será menor, e assim sucessivamente.

A quantidade total de humidade necessária para terminar a seca será o novo valor de ZE calculado para o mês de ordem i , somado à humidade acumulada previamente:

$$ZE + \sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} - U_i$$

onde $U = UW$

i - número de ordem do mês

j - número de meses do intervalo entre o primeiro mês chuvoso e aquele em que termina a seca

U_{i-j} - para $j=1$, refere-se ao valor de UW no mês precedente

$j=j^*$ - limite superior da soma (indica que UW está a ser somado para trás, e j^* é o primeiro mês do período chuvoso)

Se $\sum UW < 0$, faz-se $\sum U = 0$, pois caso contrário obtinham-se probabilidades negativas na fórmula seguinte:

$$PBF = \left(\frac{\sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j}}{ZE + \sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} - U_i} \right) 100 = 100V/Q \quad (35)$$

que representa a probabilidade, em percentagem, de que uma seca tenha terminado. Para a determinação do fim de períodos chuvosos utiliza-se a mesma metodologia, embora alguns sinais tenham de mudar. Assim:

$$ZE = -77,86X_{i-1} + 42,50 \quad (36)$$

dá-nos a quantidade normal de secura ($-Z$) para terminar um período chuvoso num único mês, isto é, para reduzir a severidade do período chuvoso a $+0,50$. Também

$$UD = Z - 3,57 \quad (37)$$

representa a “secura efectiva”.

Elaborou-se em FORTRAN, um programa para a determinação dos índices de seca e, portanto, a determinação dos períodos secos e chuvosos, com base nos índices de anomalia de água no solo obtidos anteriormente.

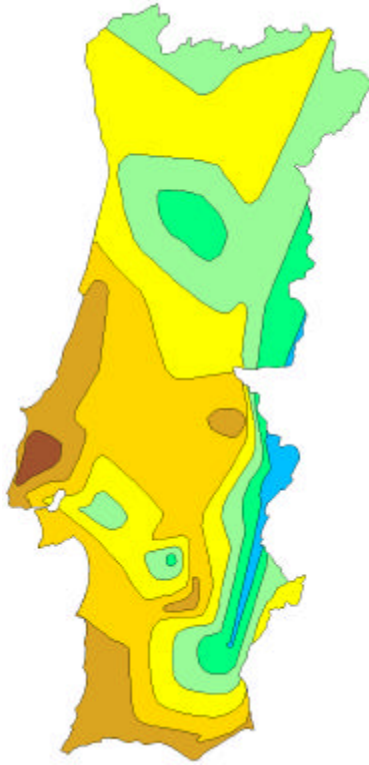
6 - CONCLUSÕES

Períodos secos abrangendo todo o território e sua severidade

Depois de aplicada a metodologia descrita no ponto anterior, efectuou-se a média anual e por estações do ano, para o período considerado, dos índices de seca obtidos para cada local. Fez-se então uma triagem de entre um vasto leque de índices de seca, seleccionando-se apenas os anos cuja média anual era inferior a -2, ou seja, valor de índice pertencente à classe de moderadamente seco, conforme Quadro 2.

Podemos então afirmar, que situações de seca são frequentes em Portugal Continental, sendo de destacar para o período de 1941-92, 5 anos de seca generalizada abrangendo praticamente todo o território. Apresentam-se a seguir, as cartas que ilustram a distribuição espacial da seca no território do continente português correspondentes aos anos com maior índice de severidade: 1944, 1945, 1955, 1981, 1992.

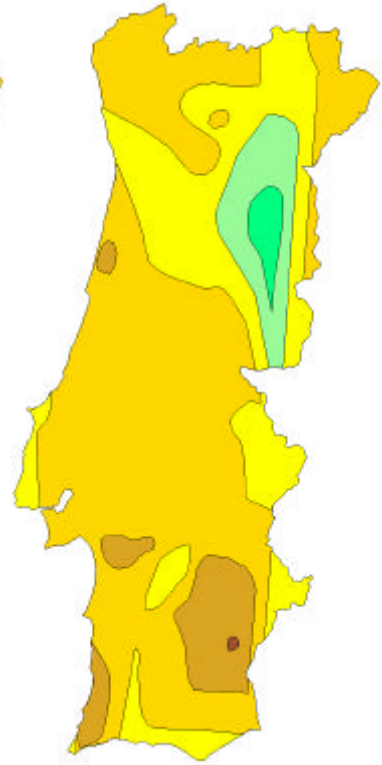
1944



1945



1955



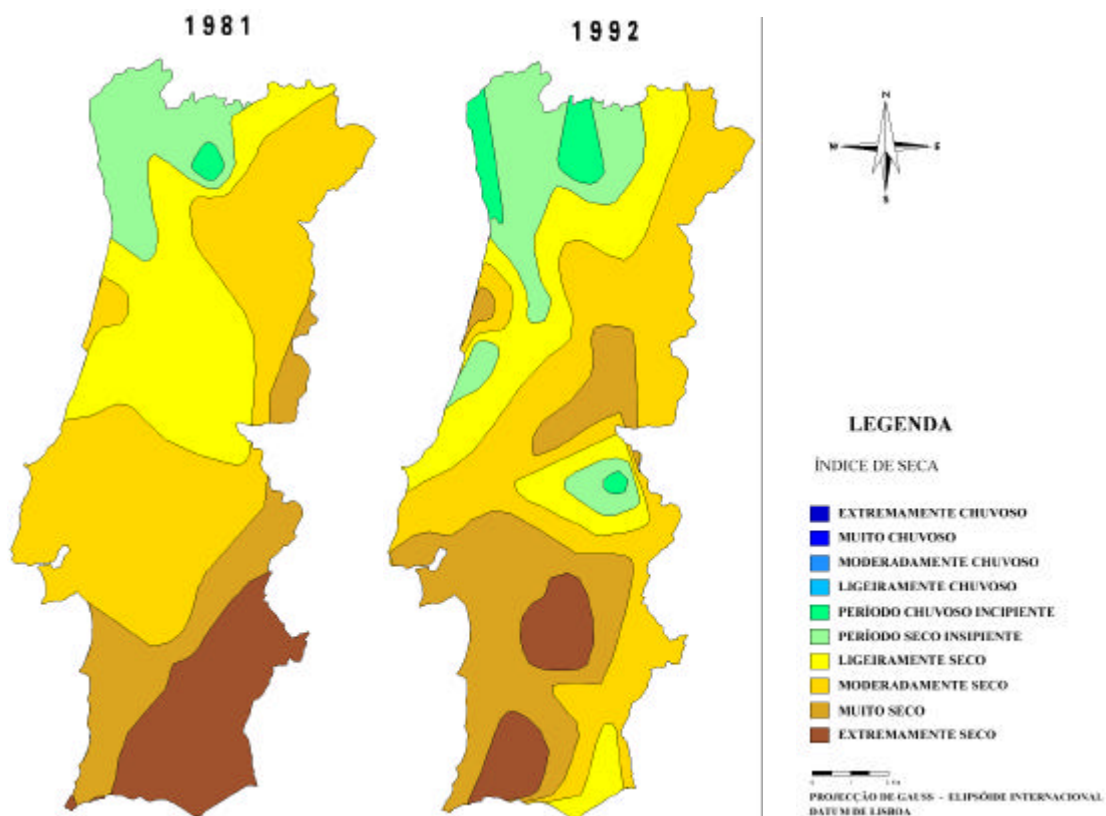


Figura 6 - Cartas do índice de seca

O mapa correspondente ao ano de 1945, ilustra que cerca de 75 % território apresenta índice de seca entre o muito seco a extremamente seco, o que corresponde a situações de seca bastante acentuada. Também no ano hidrológico de 1944/45, 100% da área do território está entre os decis 0 e 2 (94% entre os decis 0 e 1), mais uma vez manifestando uma situação de seca.

Verifica-se também que a variação das precipitações ao longo dos anos mais secos se processa de forma muito diferente de ano para ano, sendo contudo, como é evidente, a ocorrência das secas condicionada fundamentalmente pelo regime de precipitações no período que decorre entre Outubro e Abril. A precipitação correspondente a este período é em ano médio 75% da precipitação anual.

Também seleccionamos os anos cuja média do índice de seca para cada uma das estações do ano, era inferior a -2, tendo-se obtido:

- ⇒ Primavera: 1945, 1949, 1955, 1965, 1982, 1992;
- ⇒ Outono: 1944, 1945, 1948, 1953, 1957, 1974, 1975, 1981, 1985, 1991;
- ⇒ Inverno: 1945, 1954, 1975, 1992;

⇒ Verão: 1945, 1949, 1953, 1955, 1965, 1981, 1986, 1991, 1992.



O Índice de Palmer é um índice popular e tem sido muito utilizado numa grande variedade de aplicações através dos Estados Unidos. É extremamente eficaz medindo a sensibilidade dos impactes nas condições de humidade do solo, por exemplo, na agricultura WILLEKE et al. (1994). Tem sido igualmente útil como ferramenta de monitorização de secas e tem sido usado para iniciar ou concluir planos de contingência de secas WILLEKE et al. (1994). ALLEY (1984) identificou três características positivas do Índice de Palmer que contribuem para a sua popularidade:

- (1) fornece a quem decide, uma medida da anomalia das condições climáticas recentes para uma dada região, permitindo um adequado planeamento e gestão dos recursos hídricos, face à crescente gravidade que o fenómeno da seca vem a assumir, em virtude do aumento que se adivinha no que diz respeito à procura da água;
- (2) dá a oportunidade de enquadrar situações actuais numa perspectiva histórica;
- (3) fornece uma representação espacial e temporal de secas históricas.

No entanto, existem também limitações consideráveis no uso do Índice de Palmer, e estas são descritas em detalhe por ALLEY (1984) e KARL e KNIGHT (1985), incluindo:

- Os valores quantificadores da intensidade de seca e sinalizadores do início ou fim de uma seca ou período húmido foram arbitrariamente seleccionados a partir do estudo de PALMER no Iowa central e no Kansas ocidental e possuem um significado científico de menor importância.
- O Índice de Palmer é sensível ao conteúdo de água disponível (AWC) de um tipo de solo. Deste modo, aplicar o índice a uma Região Climática pode ser muito generalista.
- As duas camadas de solo dentro dos limites das computações do equilíbrio da água, encontram-se simplificadas e podem não ser correctamente representativas para um determinado local.
- Queda de neve, cobertura de neve e solo gelado não se encontram incluídos no índice. Toda a precipitação é tratada como chuva, levando a que os valores obtidos por aplicação do método de PALMER, possam ser inexatos nos meses de Inverno e Primavera em regiões onde ocorra neve.
- O retardamento natural entre precipitação e o resultante escoamento não é considerado. Adicionalmente, nenhum escoamento é considerado no modelo enquanto a capacidade de água das camadas de solo superficiais e subsuperficiais se encontrar completa, levando a uma subestimação do referido escoamento.
- A evapotranspiração potencial é estimada usando o método THORNTHWAITE. Esta técnica tem tido uma grande aceitação mas continua a ser uma mera aproximação.

Vários outros investigadores apresentaram limitações adicionais ao Índice de Palmer. MCKEE et al. (1995) sugeriu que o índice de Palmer é desenhado para a agricultura mas não

representa de modo exacto, os impactes hidrológicos resultantes de secas com longas escalas de tempo. O Índice de Palmer é igualmente aplicado no interior dos Estados Unidos mas possui pequena aceitação em qualquer outra parte KOGAN (1995). Uma explicação para tal foi fornecida por SMITH et al. (1993), o qual sugeriu que o referido índice não funciona bem em regiões onde se verificam extremos na variabilidade da pluviosidade ou do escoamento.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEY, W. M. - The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984.
- CUNHA, L. VEIGA; GONÇALVES, A. SANTOS; FIGUEIREDO, V. ALVES; LINO, MÁRIO - A Gestão da Água. Princípios Fundamentais e sua Aplicação em Portugal. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (Portugal), 1981.
- GONÇALVES, M. J. ZORRO - Contribuição para o estudo das Secas em Portugal Continental. *Revista Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*, Vol.5, nº 1 a 4, 1982.
- KARL, T. R. and R. W. KNIGHT - Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for the Contiguous United States. *Historical Climatology Series 3-7*, National Climatic Data Center, Asheville, 1985.
- KOGAN, F. N. - Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of American Meteorological Society*, 1995.
- KÖPPEN, W. and GEIGER - The Climates of North America. *R. Handbuch der Klimatologie*, Berlin, (1936).
- MCKEE, T. B., N. J. DOESKEN and J. KLEIST - Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, 1995.
- PALMER, W. C. - Meteorological Drought. *Research Paper nº 45*, Fev. 1965.
- PALMER, W. C. - End of Drought, *Weekly Weather and Crop Bulletin*, National Sullary, Vol. 48, nº 32, Ago. 1961.
- PALMER, W. C. and HAVENS, A. V. - A Graphical Techique for Determining Evapotranspiration by Thornthwaite Method, *Monthly Weather Review*, Vol. 86, nº 4, Apr. 1958.
- RIBEIRO, ORLANDO - Geografia de Portugal. A Posição Geográfica e o Território. Edições João Sá da Costa, Lisboa (Portugal), Volume I, 1991.
- SANTO, FÁTIMA ESPÍRITO - O Clima de Portugal Continental. Instituto de Meteorologia, Janeiro 1997.
- SMITH, D. I., F. HUTCHINSON and R. J. MCARTHUR - Australian Climatic and Agricultural Drought: payments and policy. *Drought Network News*, 1993.
- THORNTWAITE, C. M. - Instruction and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. *Publication in Climatology*, vol 10, nº 3, 1957.
- WILHITE, D. A - Developing a precipitation-based index to assess climatic conditions across Nebraska. Final report submitted to the Natural Resources Commission, Lincoln, 1995.

WILHITE, D. A. and GLANTZ, M. H - Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 1985.

WILLEKE, G., J. R. M. HOSKING, J. R. WALLIS and N. B. GUTTMAN - The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report, U. S. Army Corps of Engineers, 1994.