

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE SECA. UMA NOVA ABORDAGEM Index for Drought Effects Evaluation. A new approach

EDUARDO VIVAS ⁽¹⁾ e RODRIGO MAIA ⁽²⁾

⁽¹⁾ Aluno Doutoramento, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, evivas@fe.up.pt

⁽²⁾ Professor Associado, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, rmaia@fe.up.pt

Resumo

Um índice tem como objectivo agregar um elevado volume de informação num resultado claro e global, devendo ser simples e com um significado concreto sobre a realidade representada. No caso de situações de seca, um índice deverá detectar o início, mas também acompanhar a sua evolução e potenciais efeitos.

Porém, dos índices habitualmente utilizados verifica-se que alguns são de determinação complexa, o significado nem sempre é compreensível e nenhum é globalmente melhor do que os outros, embora existam índices mais adaptados a certas situações e/ou regiões.

No presente trabalho é apresentada uma nova abordagem, de acordo com a afectação do ciclo hidrológico nestas situações, utilizando um novo índice, designado por Índice de avaliação de Efeitos de Seca (IES), que permite avaliar, de forma adimensional, dados de precipitação, escoamento, níveis piezométricos e volumes armazenados em albufeiras, tal como exemplificado para a região a montante de Alqueva, na parte portuguesa da bacia do Guadiana. Será, ainda, efectuada uma comparação com os *Standardized Precipitation Index* e Índice de Palmer e avaliada a compatibilidade com o correspondente Espanhol, o Índice de Estado.

Palavras-chave: Avaliação de secas; monitorização; impactos; rio Guadiana; análise comparativa.

Abstract

The main objective of an index is to aggregate a considerable amount of data into a global and clear result. Therefore it shall be simple and keep a meaningful figure of reality. Regarding droughts' assessment, a proper index shall be able to detect its onset and also to follow up its evolution and potential effects.

Nonetheless, the majority of existent drought indexes has a complex calculation, its meaning is not always clear and there is no index globally better than the others, even though some of them are more appropriate for certain situations and/or regions.

The current study will present a new approach for droughts' evaluation, according to its affection of the hydrologic cycle. It is based on a new index, Índice de avaliação de Efeitos de Seca (IES), for non-dimensional evaluation of data like: precipitation, runoff, groundwater tables and volumes stored in reservoirs. An illustrative application is shown for the Portuguese part of the Guadiana's basin, upstream Alqueva's dam. A comparison with the Standardized Precipitation Index and Palmer Index will also be made, as well as the analysis of the compatibility with the Spanish drought index, the Índice de Estado.

Keywords: Droughts' assessment; monitoring; impacts; river Guadiana; comparative analysis.

1. Introdução

As secas constituem um fenómeno natural cuja evolução lenta, de meses, ou até anos, pode assumir consequências bastante gravosas, em especial nas regiões mediterrânicas onde problemas de escassez de água, deterioração da qualidade e níveis de utilizações crescentes (MEDROPLAN, 2007), tornam essencial uma gestão mais preventiva, planeada e atenta dos recursos hídricos existentes. Por outro lado, não é possível controlar, ou até prever, a ocorrência de situações de seca.

Porém, os seus impactos podem ser mitigados, até certo ponto, com o desenvolvimento de uma adequada metodologia de avaliação, bem como de planos de gestão próprios, com uma prévia definição de estratégias de prevenção e de gestão, fundados, em ambos os casos, em índices para definição de níveis de alerta e severidade de seca, de acordo com as principais orientações nacionais e europeias (MAOTDR, 2007; CEC, 2007; DG Env EC, 2007).

Verifica-se, porém, que, dos diversos índices de avaliação habitualmente utilizados, nenhum é globalmente melhor do que os outros, embora existam alguns mais adaptados a certo tipo de situações e/ou regiões (Heim Jr, 2002; Steinemann *et al.*, 2005).

Procurando colmatar alguns dos problemas mais comuns dos índices habitualmente utilizados, será, então, apresentada, no presente trabalho, uma nova abordagem de avaliação de situações de seca, com base num Índice de Avaliação dos Efeitos de Seca (IES), que permitirá avaliar, de forma homogênea, dados de precipitação, de escoamento, de níveis piezométricos e de volumes armazenados ou níveis de albufeira.

Tendo por base uma aplicação do índice IES à região a montante de Alqueva, na zona portuguesa da bacia do rio Guadiana, será ainda apresentada uma comparação com outros índices de avaliação de secas o Standardized Precipitation Index e o Índice de Palmer (McKee *et al.*, 1993; Palmer, 1965), bem como avaliada a compatibilidade com o correspondente Espanhol, o Índice de Estado (Estrela *et al.*, 2006).

Por último, serão apresentadas as principais vantagens e potencialidades de aplicação deste índice na avaliação e gestão de situações de seca.

2. Índices de Avaliação

Uma situação de seca tem início com a afectação das condições de precipitação face ao considerado normal para a região e para a época em causa (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005), o que, mantendo-se por um período de tempo suficientemente longo, poderá levar a uma propagação desse défice na sequência natural do ciclo hidrológico.

No caso da avaliação de secas, um índice deverá permitir detectar o seu início e fim, mas também o acompanhamento da sua evolução, facilitando a avaliação da duração e abrangência espacial, bem como dos potenciais efeitos de um dado evento.

Este tipo de ferramentas constitui o elemento base de ligação, para uma dada região, entre a avaliação do nível de severidade de uma situação de seca e as medidas correspondentes que devem ser adoptadas, ou até mesmo as entidades responsáveis que devem ser envolvidas na sua gestão (Steinemann *et al.*, 2005).

Como consequência, alguns decisores acabam por consultar vários índices para apoiarem as suas decisões, embora de forma desagregada, levando, muitas vezes, a especiais dificuldades na avaliação e adopção de medidas em regiões distintas e na discussão e justificação dos resultados entre as diferentes entidades envolvidas na gestão de secas, bem como na divulgação de informação ao público em geral.

Assim, embora a avaliação de uma seca deva partir sempre da análise das condições de precipitação numa dada região, a severidade da mesma será tanto mais significativa quanto os impactos causados, tornando bastante relevante a avaliação de variáveis que permitam representar, de forma mais rigorosa, a ocorrência dos mesmos.

Importa notar que as especificidades de cada local, nomeadamente no que diz respeito às vulnerabilidades existentes na satisfação das principais utilizações, tanto em termos de recursos disponíveis, como das características das infraestruturas existentes, ou mesmo da capacidade de gestão por parte das instituições responsáveis, criam especiais dificuldades de adaptação de alguns destes instrumentos às diferentes regiões em análise.

Este aspecto deverá ser tido em conta desde o processo de selecção de índices apropriados à definição da escala de classificação final, através da qual serão estipulados os níveis de alerta e de intervenção, com medidas específicas.

3. Nova Abordagem na Avaliação de Efeitos de Seca

3.1. Esquema geral de avaliação

Tal como anteriormente referido, sendo uma seca originada por uma diminuição acentuada (ou mesmo total) de precipitação, face à situação considerada de normalidade, esta poderá levar à ocorrência de impactos nas diferentes fases do ciclo hidrológico, de forma sequencial, com uma redução inicial das condições de humidade do solo, uma consequente redução dos níveis de escoamento dos rios e da recarga de águas subterrâneas e podendo, inclusive, chegar à imposição de restrições na alocação de volumes para as diferentes utilizações, se as principais reservas forem seriamente afectadas (níveis de armazenamento em albufeiras e níveis piezométricos de águas subterrâneas).

Assim, o processo de avaliação de uma situação de seca deverá, também, atender a esta afectação sequencial do ciclo hidrológico, centrando-se em diferentes fases de avaliação: meteorológica, de humidade no solo, hidrológica e operativa, respectivamente, tal como descrito na Figura 1.

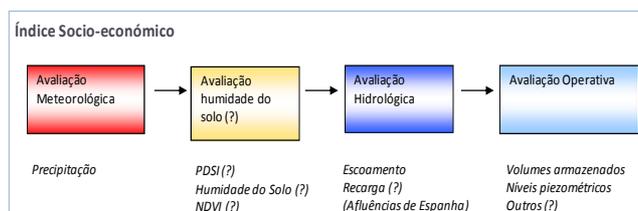


Figura 1. Esquema geral da nova abordagem de avaliação de efeitos de seca.

Porém, a definição dos indicadores-base de avaliação em cada fase, está dependente da existência de monitorização de variáveis e correspondente disponibilidade desses dados, que permitam quantificar os diferentes elementos do ciclo hidrológico numa determinada região (precipitação, escoamento, níveis piezométricos, volumes armazenados em albufeiras, etc.).

Não obstante, tendo como objectivo, além da avaliação da severidade de seca de uma determinada região, a definição das entidades a envolver e das medidas de mitigação a aplicar, numa dada situação de seca, deverá ainda ser feita uma ponderação final das diferentes fases de avaliação consideradas, segundo aquilo que se pode designar como índice socio-económico.

Considerando este esquema conceptual, torna-se necessário recorrer a um índice que permita a aferição do estado das diferentes variáveis, de acordo com o histórico de registo da região em causa e que possibilite, ainda, a agregação dos diferentes tipos de informação considerados. Nesse sentido, foi desenvolvido o Índice de avaliação de Efeitos de Seca (IES).

3.2. Índice de avaliação de Efeitos de Seca (IES)

Analizadas as principais vantagens e desvantagens dos índices de seca habitualmente utilizados e tendo como objectivo a quantificação simples e adimensional da variação de uma dada variável, qualquer que ela seja, comparativamente à série histórica de registos que lhe serve de base, foi considerada a utilização de um novo índice, denominado Índice de avaliação de Efeitos de Seca (IES) que pode ser obtido por [1] e [2]:

$$\text{Se } V_i > V_{ref} \Rightarrow IES = \frac{V_i - V_{ref}}{V_{max} - V_{ref}} \quad [1]$$

$$\text{Se } V_i \leq V_{ref} \Rightarrow IES = \frac{V_i - V_{ref}}{V_{ref} - V_{min}} \quad [2]$$

sendo V_i a variável em análise, V_{min} o valor mínimo da série de registos dessa variável, V_{max} o valor máximo dessa série e V_{ref} um valor intermédio que possa servir de referência à avaliação da variável em causa (como a média, a mediana, ou outro valor). Neste esquema, a variação do IES assumirá um comportamento como o demonstrado na Figura 2.

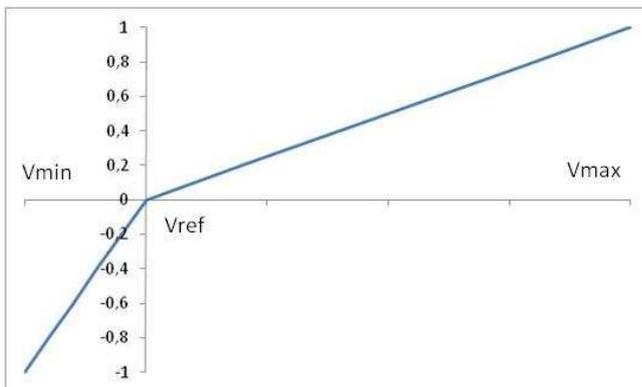


Figura 2. Exemplo de variação do índice IES em função do valor da variável em análise V_i .

No formato proposto, este índice (IES) mostra-se adequado ao propósito de permitir a comparação entre variáveis de diferentes tipos (precipitação, escoamento, níveis piezométricos ou volumes armazenados em albufeiras). No que toca às variáveis de precipitação e escoamento, estas poderão ser analisadas segundo diferentes períodos de avaliação, como por exemplo através de valores acumulados a 3, 6, 12 meses, ou outro período de tempo qualquer, à semelhança de outros índices – tal como o SPI (McKee *et al.*, 1993). A calibração e adaptação da avaliação de cada uma das variáveis às características da região em análise deverá ser assegurada de forma individual, através de dois elementos principais: (i) a selecção do valor de referência e (ii) a definição dos intervalos de classificação.

O valor de referência irá estabelecer o nível a partir do qual se deverá considerar uma afectação da variável em análise.

Por outro lado, os intervalos de classificação de severidade (que poderão corresponder a níveis de gravidade crescente como normalidade, pré-alerta, alerta e emergência) deverão ser estipulados de acordo com o grau de sensibilidade e de alerta que se pretenda obter, ou até mesmo da probabilidade de ocorrência associada, mas sempre reflectindo o tipo e a severidade de impactos passíveis de ocorrerem na região em análise.

3.3. Aplicação a um caso de estudo

Para aplicação da abordagem proposta foi considerada a região portuguesa da bacia do Guadiana, zona de natural aridez, regularmente afectada por situações de seca (responsável por largos prejuízos, em particular na agricultura) e dependente dos volumes de escoamento provenientes de Espanha devido ao seu carácter transfronteiriço, especialmente relevante em situações de seca (INAG, 2000; Maia, 2009). O caso de estudo individualizado foi, então, a parte, da região portuguesa da bacia, localizada a montante da secção da barragem de Alqueva, dada a multiplicidade de tipos de origem de água e de utilizações aí concentradas (Figura 3).

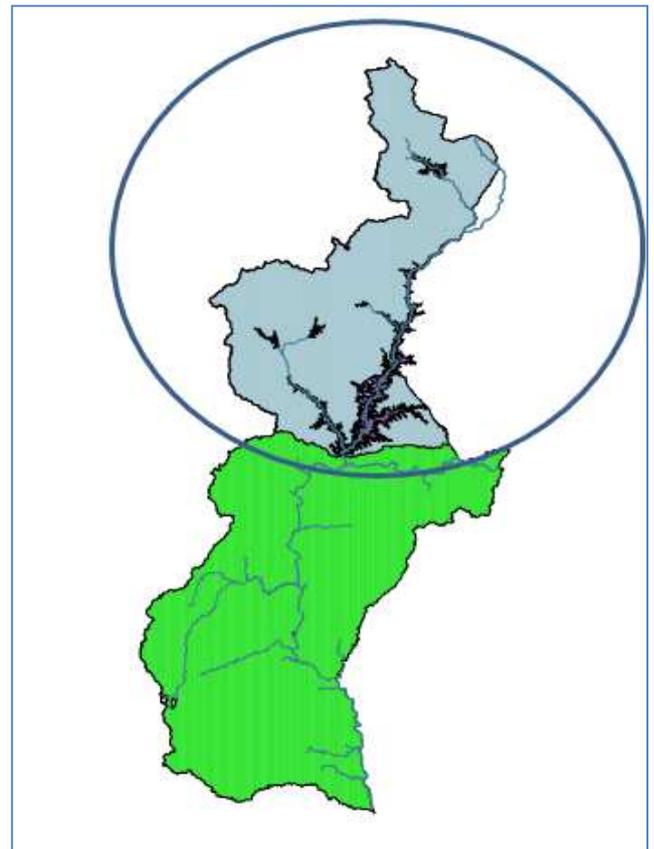


Figura 3. Identificação da zona de estudo (montante de Alqueva) na parte portuguesa da bacia do Guadiana.

A definição de um sistema de indicadores para a zona de estudo teve por base a identificação das estações de monitorização existentes, bem como a caracterização dos registos correspondentes de precipitação, escoamento, volumes armazenados em albufeiras e ainda níveis piezométricos. Verifica-se, todavia, a inexistência de dados disponíveis para avaliação da humidade do solo, razão pela qual essa avaliação não foi considerada no presente trabalho.

De facto, da análise de dados disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) ¹, foi possível seleccionar as estações que continuam activas até à actualidade (tendo como objectivo a monitorização contínua) e as que possuem um comprimento de registo significativo, de modo a melhorar a representatividade de aplicação do índice IES, uma vez que este atende às características do histórico de registos. Além disso, de acordo com o tipo de origem das diferentes utilizações existentes na região (em especial o abastecimento urbano e a agricultura), foi considerada a avaliação de águas subterrâneas (através de dados de registo de níveis piezométricos para representação das disponibilidades em captações subterrâneas) e a avaliação de águas superficiais (através de dados de escoamento superficial - disponibilidades para captações em rio ou em pequenas albufeiras de gestão privada, e de dados de volumes armazenados - disponibilidades em albufeiras públicas).

3.3.1. Avaliação meteorológica

Para avaliação da precipitação foram consideradas as seguintes estações de monitorização (Tabela 1):

Tabela 1. Estações meteorológicas seleccionadas (SNIRH, 2009).

CÓDIGO	NOME
18N/01UG	SÃO JULIÃO
19N/03UG	ESPERANÇA
19O/03UG	DEGOLADOS
21K/01UG	AZARUJA
21M/01UG	VILA VIÇOSA
21M/02UG	ALANDROAL
21N/01UG	JUROMENHA
22L/02UG	SANTA SUSANA
22M/01UG	SANTIAGO MAIOR
23K/01UG	SÃO MANÇOS
23L/01G	REGUENGOS
24K/01UG	PORTEL
24N/01UG	AMARELEJA (D.G.R.N.)
25L/01UG	PEDROGÃO DO ALENTEJO

Para a avaliação meteorológica desta zona de estudo foi considerada a aplicação do índice IES à série de precipitação de 45 anos, desde 1962/63 a 2006/07 (depois de devidamente completadas as falhas existentes nos registos de algumas das estações seleccionadas, pelo método das duplas acumulações) ponderada para toda a zona de análise, de acordo com as áreas de influência de cada estação, definidas pelos polígonos de Thiessen.

Como variável de base nesta análise foi considerada, em primeira aproximação, a precipitação acumulada a 12 meses, ou seja, em cada mês, a precipitação ocorrida nos últimos doze meses. Por sua vez, o valor de referência considerado foi a mediana de precipitação mensal acumulada a 12 meses, da série de 45 anos (correspondente ao percentil 50). Relativamente à classificação de severidade de seca, apesar de, tal como referido anteriormente, dever ser aferida de acordo com as características da região, foi assumida, numa primeira abordagem, segundo os intervalos descritos no Tabela 2.

Tabela 2. Classificação de severidade de seca considerada.

IES - VALORES LIMITE	CLASSES DE SECA
MAIS DE 0,2	HÚMIDO
-0,25 A 0,2	NORMAL
-0,5 A -0,25	SECA MODERADA
-0,75 A -0,5	SECA SEVERA
MENOS DE -0,75	SECA EXTREMA

Para a região em análise, em termos de precipitação acumulada a 12 meses, os limites superiores dos intervalos das classes de seca moderada (-0,25), seca severa (-0,5) e seca extrema (-0,75), correspondem, de forma aproximada, aos percentis 30, 20 e 10, respectivamente.

3.3.2. Avaliação hidrológica

No caso da avaliação do escoamento mensal, foram seleccionadas as estações hidrométricas, do SNIRH, activas, com um funcionamento o mais próximo possível do regime natural - isto é, avaliando a existência ou não de aproveitamentos a montante - e que apresentassem ainda a maior extensão de registos possível.

Com base no critério definido e avaliando as estações hidrométricas da área (Figura 4) foi possível identificar a estação de Ponte Algalé (19N/02H) como a mais representativa.

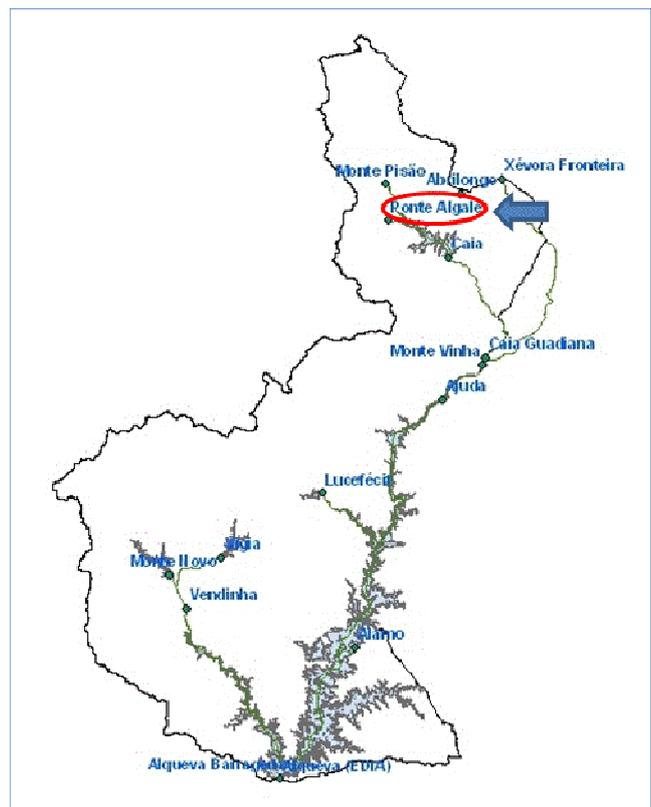


Figura 4. Identificação das estações hidrométricas da zona de estudo e da localização da estação Ponte Algalé.

Com base nos registos desta estação, foi considerada a aplicação do índice IES a dados de escoamento mensal acumulados, tal como para a precipitação, a 12 meses. Foi, também considerado, como valor de referência do IES, a mediana do escoamento acumulado a 12 meses, para a série de registos existente (de 1981/82 a 2006/07, embora com falhas significativas).

¹ <http://snirh.pt>

Relativamente à classificação de severidade de seca, pode ser considerada, numa primeira análise, a mesma escala definida na Tabela 2.

3.3.3. Avaliação operativa

A componente operativa deste esquema de avaliação consiste na análise do estado das disponibilidades nas principais origens de água para as diferentes utilizações da região em estudo, podendo dividir-se segundo o tipo de origem (águas superficiais ou águas subterrâneas). Analizando, em primeiro lugar, as origens de água subterrânea, considerou-se a avaliação dos principais sistemas aquíferos da área - Elvas-Campo Maior, Elvas-Vila Boim e Estremoz-Cano (Figura 5). A selecção dos piezómetros de avaliação passou, então, pela identificação daqueles que, no seio de um determinado sistema aquífero, estivessem integrados na área em questão, permanecessem activos e possuíssem uma extensão de registos o mais significativa possível. Porém, uma vez que a rede de piezometria do SNIRH é relativamente recente e apresenta bastantes falhas de medição, em especial nesta zona do Alentejo, apenas foram considerados os piezómetros cujos registos fossem constituídos por um mínimo de 24 valores mensais (Tabela 3), o equivalente a 2 anos de monitorização contínua mas que, para a rede em causa, acaba por corresponder a um período de mais de 3 anos.

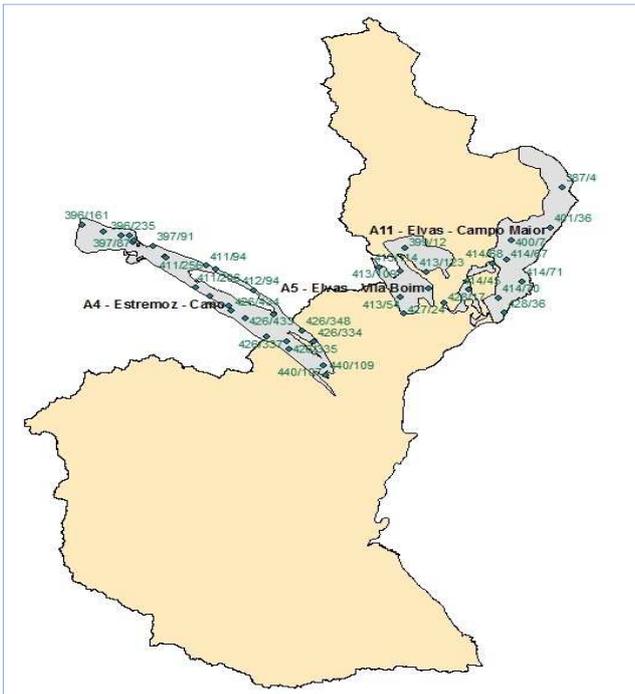


Figura 5. Identificação dos principais sistemas aquíferos da zona de estudo com identificação das estações piezométricas existentes.

Não obstante, depois de seleccionados estes piezómetros, foi possível verificar que existem poucos piezómetros representativos com dados recolhidos de forma contínua, i.e., com valores mensais consecutivos. Além disso, a extensão de registos é por norma “curta” (máximo 9 anos) e apresenta muitas falhas, embora seja de realçar que, embora existam alguns meses em que nenhum dos piezómetros apresenta qualquer valor, na maioria das situações existe pelo menos um piezómetro que, em cada sistema aquífero, apresenta um registo nesse mês.

Neste contexto, procurou-se efectuar uma representação de cada sistema aquífero utilizando a média dos piezómetros seleccionados (nível piezométrico médio virtual).

Tabela 3. Piezómetros seleccionados para a zona em estudo (SNIRH, 2009).

SISTEMA AQUIFERO	PIEZÓMETRO (REF SNIRH)
ELVAS - CAMPO MAIOR	387/4
	400/7
	414/70
ELVAS - VILA BOIM	399/12 PENA CLARA
	413/54 TCN1 VILA BOIM
	413/78 ALGARAVENHA
	413/123 STO ANTÓNIO
	414/45 ELVAS
ESTREMOZ - CANO	426/302
	426/334
	426/335
	426/337

A série de registos obtida (de níveis médios) foi completada recorrendo a correlações de cada posto com a média em questão, de forma a obter um valor para cada mês, sempre que exista pelo menos um piezómetro com registo nesse mês.

Desta forma foi possível, também para os sistemas aquíferos, avaliar o estado das origens de água subterrânea, considerando os valores de níveis piezométricos e a consequente aplicação do índice IES. Nesta primeira avaliação, e de acordo com a fórmula definida pelas Eq. [1] e [2], o valor de referência considerado para os níveis piezométricos foi o valor médio, admitido como representativo da situação normal, o que, considerando que os aquíferos em causa não estão sobre-explorados, corresponde a uma razoável aproximação.

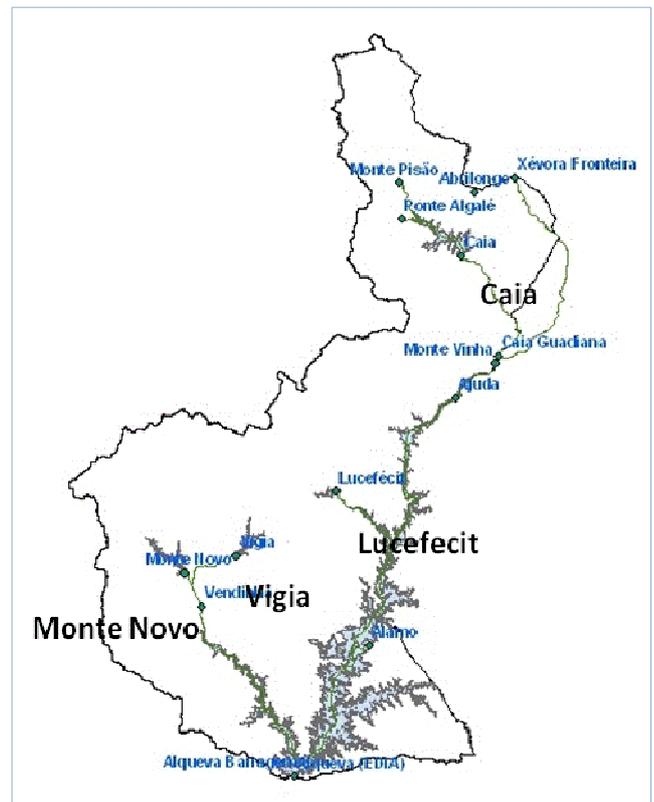


Figura 6. Identificação das principais origens de água superficial (captações em albufeira) da zona de estudo.

No caso das principais origens de água do tipo superficial da zona em estudo, pode verificar-se (Figura 6) que correspondem a captações em albufeiras de grande dimensão destacando-se as albufeiras do Caia (fins múltiplos), de Lucefecit (perímetro de rega de iniciativa pública), da Vigia (fins múltiplos), e de Monte Novo (fins múltiplos). Note-se que, apesar de integrada nesta área, a albufeira de Alqueva (fins múltiplos) ainda não é utilizada como origem de água para a zona em estudo (EDIA, 2009).

Para cada uma das albufeiras em questão, foi, então, aplicado o índice IES aos registos de volumes armazenados no final do mês, admitindo-se, igualmente em primeira avaliação, que o valor médio desses registos será o mais adequado como valor de referência para o IES (o que, se as utilizações associadas às albufeiras estiverem de acordo com os valores para as quais foram dimensionadas, pode-se considerar um pressuposto razoável).

3.3.4. Avaliação final global

Definidas as avaliações parciais dos indicadores (variáveis de base) e, considerando que cada utilização existente na área em estudo é representada pelos indicadores que melhor reflectem o estado das disponibilidades, segundo a origem a que estão afectas, a agregação da informação referente às diferentes variáveis, pode ser realizada recorrendo a factores de ponderação.

Esta metodologia, considerada de forma similar no sistema espanhol de avaliação de secas (Estrela *et al.*, 2006), tem como objectivo realçar o impacto que a situação de seca poderá ter sobre as diferentes utilizações, agregando a informação, de acordo com um grau de importância (factor de ponderação) que cada utilização representa na região, para a definição de um resultado final único de severidade de seca, ao qual irá corresponder um nível de actuação necessária.

No caso da região em estudo, tal como referido anteriormente, as utilizações principais são o abastecimento urbano e a agricultura que se encontram, geralmente, associadas a captações subterrâneas, no seio dos principais sistemas aquíferos, ou a captações nas principais albufeiras da região. Não obstante, algumas utilizações poderão ser, também, consideradas directamente dependentes das condições de precipitação e/ou escoamento superficial.

Por um lado, as disponibilidades das captações existentes no maciço antigo indiferenciado (para abastecimento urbano ou rega privada) podem ser representadas pela precipitação, pois apresentam uma produtividade muito reduzida.

Por outro, na falta de dados de humidade do solo, esta poderá, também, representar as disponibilidades para as culturas de sequeiro (bastante relevantes na área em estudo) a ainda de alguns ecossistemas.

Também com vista à representação das origens para fins agrícolas, foi considerado que o escoamento superficial poderia representar a afectação das disponibilidades em pequenas albufeiras ou reservatórios de iniciativa e gestão privadas (de baixa capacidade de armazenamento e dependentes da afectação das condições de escoamento).

De igual forma, esta variável permitirá, ainda, representar as disponibilidades para os principais ecossistemas aquáticos.

Como exemplo da flexibilidade da abordagem proposta e, dada a importância das variáveis precipitação e escoamento, foi considerado que estas representariam, em conjunto, 50% da ponderação a efectuar, subdividida em 35% para os valores da avaliação meteorológica (constitui o primeiro alerta para o início de uma situação de seca), e 15% para os valores da avaliação hidrológica. Os restantes 50% da ponderação corresponderiam à avaliação operativa (IES aplicado aos níveis piezométricos e aos volumes armazenados nas principais albufeiras).

A subdivisão desses últimos 50% de ponderação foi, por sua vez, definida a partir da avaliação da importância (volume anual) das utilizações associadas a cada uma dessas origens (sistemas aquíferos e albufeiras), efectuada no âmbito do trabalho de desenvolvimento de um Sistema de Previsão e Gestão de Secas que a FEUP se encontra a realizar para o Instituto da Água, I.P. (Maia *et al.*, 2009).

Tomando como exemplo os anos hidrológicos de 2004/05 e 2005/06, o resultado da avaliação final foi, então, obtido por ponderação dos diferentes valores do IES, segundo os factores específicos de cada variável (Figura 7). Como classificação de severidade de seca aplicada a todas as variáveis e também na avaliação final, foi considerada, em primeira aproximação, a apresentada na Tabela 2. Convém realçar que o exemplo aqui descrito pretende apenas demonstrar as potencialidades e capacidades de flexibilidade e de adaptação da abordagem proposta, devendo, a definição dos factores de ponderação e da escala de classificação de severidade ter por base um estudo mais aprofundado das características da região, não só das utilizações existentes e das respectivas origens, mas também realçando a relevância socio-económica da ocorrência de impactos de seca na região.

3.4. Compatibilidade com outros índices

3.4.1. Standardized Precipitation Index (SPI)

Para análise da validade de aplicação do IES, pode ser considerada a comparação com alguns dos índices mais usados a nível mundial, como é o caso do SPI, desenvolvido por McKee *et al.* (1993), na *Colorado State University*, que tem como objectivo principal quantificar o défice de precipitação para diferentes escalas temporais, associando uma probabilidade de ocorrência de um determinado registo de precipitação. Uma vez que o SPI pode ser entendido como o número de “desvios-padrão” que um determinado valor de precipitação apresenta face à média histórica correspondente, para uma determinada área em análise, pode até considerar-se que o princípio de base é o mesmo do IES proposto (variação face a um valor de referência), neste caso para a avaliação meteorológica.

Todavia, o SPI difere deste, na medida em que aplica aos valores de precipitação acumulada a 1 mês, 3 meses, etc. uma distribuição probabilística (Gamma) que é depois transformada na distribuição normal, para que o SPI médio, para a região e período de análise, seja 0.

	IES - Diacip	IES - Esc (Pte Algalé)	IES - N.P (Elvas-C.Maior)	IES - N.P. (Elvas-V.Boim)	IES - N.P. (Estremoz-Cand)	IES - V.arm (Caia)	IES - V.arm (Lucelecil)	IES - V.arm (Vigia)	IES - V.arm (Mte. Novo)	IES - Ponderação global
Ponderação	0,35	0,15	0,11	0,11	0,09	0,13	0,02	0,02	0,02	
Out-04	-0,25	-	-0,03	-0,13	-0,23	0,16	-0,04	-0,16	-0,05	-
Nov-04	-0,19	0,29	0,19	-	-	0,18	-0,37	-0,07	-0,07	-
Dez-04	-0,63	0,10	0,02	0,04	-0,05	0,18	-0,36	-0,08	-0,09	-0,19
Jan-05	-0,74	0,01	0,02	-0,10	-0,10	0,17	-0,36	-0,12	-0,13	-0,25
Fev-05	-0,88	-0,88	-0,03	0,00	-0,15	0,16	-0,38	-0,16	-0,15	-0,41
Mar-05	-0,88	-0,88	-0,92	-0,18	-0,20	0,11	-0,41	-0,50	-0,18	0,57
Abr-05	-0,90	-0,83	-0,02	-0,13	-0,25	0,07	-0,49	-0,26	-0,23	-0,51
Mai-05	-0,88	-0,84	-0,10	-0,30	-	0,02	-0,59	-0,36	-0,25	-
Jun-05	-0,88	-0,84	-	-0,34	-0,52	-0,08	-0,76	-0,50	-0,34	-
Jul-05	-0,88	-0,84	-0,13	-0,59	-0,80	-0,21	-0,80	-0,62	-0,42	-0,68
Ago-05	-0,90	-0,84	-	-0,44	-	-0,31	-0,99	-0,70	-0,48	-
Set-05	-0,93	-0,84	-0,39	-0,89	-1,00	-0,36	-1,03	-0,73	-0,53	-0,79
Out-05	-0,90	-0,89	-0,08	-0,50	-	-0,33	-0,83	-0,63	-0,53	-
Nov-05	-0,74	-0,88	-	-0,25	-0,50	-0,31	-0,69	-0,58	-0,44	-
Dez-05	-0,66	-0,75	-	-0,54	-	-0,27	-0,38	-0,52	-0,32	-
Jan-06	-0,56	-0,69	-0,01	-0,17	-0,17	-0,24	-0,34	-0,52	-0,31	-0,39
Fev-06	-0,49	-0,61	-	0,13	-	-0,22	-0,14	-0,51	-0,27	-
Mar-06	-0,28	-0,04	-0,08	0,02	0,01	-0,08	0,06	-0,16	0,29	-0,10
Abr-06	-0,21	0,00	-	0,03	-	-0,07	0,09	-0,16	0,28	-
Mai-06	-0,34	0,00	-0,04	0,02	0,09	-0,13	0,03	-0,29	0,07	-0,12
Jun-06	-0,24	0,00	-1,00	-0,22	-0,08	-0,20	0,66	-0,42	-0,04	-0,25
Jul-06	-0,21	0,00	-0,19	-0,44	-0,33	-0,31	0,38	-0,58	-0,12	-0,22
Ago-06	-0,12	0,00	-	-0,19	-	-0,11	0,14	-0,31	-0,13	-
Set-06	-0,02	0,00	-0,10	-0,82	-0,61	-0,44	0,04	-0,15	-0,24	-0,24

Avaliação meteorológica
 Avaliação hidrológica
 Avaliação Operativa - Ág. Sub.
 Avaliação Operativa - Ág. Sup.

Figura 7. Avaliação parcial dos diferentes indicadores considerados (por tipo de avaliação) para a área de análise e obtenção do resultado final por ponderação dos resultados das diferentes variáveis para os anos hidrológicos de 2004/05 e 2005/06.

Para comparação dos índices SPI e IES, foi considerada a avaliação da série de precipitação ponderada, para a área de análise, pelo método dos polígonos de Thiessen, no período entre 1962/63 e 2006/07, tendo sido calculados os valores correspondentes a cada índice para valores de precipitação mensal acumulada a 12 meses. Os resultados obtidos foram representados no mesmo referencial (Figura 8) verificando-se uma proximidade no comportamento do SPI e do IES, não obstante a óbvia diferença na amplitude do intervalo de variação dos resultados, limitado entre -1 e 1, no caso do IES, o que não se verifica para o SPI. A correlação dos dois índices (Figura 9), corroborou essa proximidade, resultando um coeficiente de correlação linear (R^2) próximo da unidade.



Figura 8. Comparação de resultados para os índices SPI e IES, com base na série de valores mensais, de 1962/63 a 2006/07, de precipitação ponderada acumulada a 12 meses.

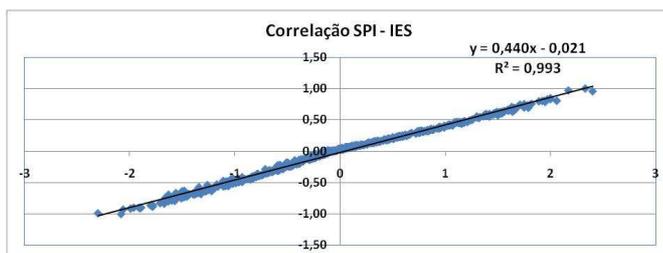


Figura 9. Correlação dos resultados para os índices SPI e IES, com base na série de valores mensais, de 1962/63 a 2006/07, de precipitação ponderada acumulada a 12 meses.

Por outro lado, em McKee *et al* (1993) foi definida uma escala de classificação, com base nos valores de SPI, para definição da severidade de um dado evento de seca (Tabela 4), tendo por base dados de precipitação de algumas estações em Fort Collins, no Colorado (EUA).

Tabela 4. Escala de classificação do SPI (McKee *et al.*, 1993).

ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO SPI	
> 2.0	EXTREMAMENTE HÚMIDO
1.5 A 1.99	BASTANTE HÚMIDO
1.0 A 1.49	MODERADAMENTE HÚMIDO
0 A 0.99	NORMAL
-0.99 A 0	LIGEIRAMENTE SECO
-1.49 A -1.0	MODERADAMENTE SECO
-1.99 A -1.5	SEVERAMENTE SECO
< -2.0	EXTREMAMENTE SECO

Apesar de amplamente utilizada, esta escala refere-se às características da região para a qual foi obtida, podendo não se adaptar aos impactos verificados noutras regiões. Tal é, inclusive, apontado no Plano Especial de Seca do Guadiana Espanhol (CHG, 2007), sendo considerado que, dadas as condições de escassez dessa área, se deveria adaptar a escala de classificação do SPI ao disposto no Tabela 5.

Tabela 5. Escala de classificação de severidade de seca do SPI adaptada à bacia do Guadiana - parte espanhola (CHG, 2007).

ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO DE SECA SPI - CLASS SP (CHG, 2007)	
-0,675 A 0	SECA LIGEIRA
-1,28 A -0,675	SECA MODERADA
-1,65 A -1,28	SECA SEVERA
< -1,65	SECA EXTREMA

Comparando, para o ano hidrológico 2004/05 (Tabela 6), os resultados das classificações dos valores de SPI, segundo as escalas original e adaptada (Class Sp) com os valores do IES, segundo a escala definida na Tabela 2, verifica-se uma considerável discrepância, embora mais reduzida no caso da classificação adaptada (Class Sp).

Tabela 6. Classificação dos resultados de SPI, segundo as escalas original e adaptada (Class Sp) e ainda dos valores do IES (2004/05).

	SPI ORIGINAL	SPI CLASS SP	IES
OUT-04	-0,57	-0,57	-0,26
NOV-04	-1,09	-1,09	-0,49
DEZ-04	-1,48	-1,48	-0,63
JAN-05	-1,55	-1,55	-0,75
FEV-05	-1,8	-1,8	-0,86
MAR-05	-1,78	-1,78	-0,88
ABR-05	-1,96	-1,96	-0,90
MAI-05	-1,79	-1,79	-0,86
JUN-05	-1,79	-1,79	-0,86
JUL-05	-1,78	-1,78	-0,86
AGO-05	-1,91	-1,91	-0,90
SET-05	-2,06	-2,06	-0,93

Essa diferença resulta, igualmente, das frequências acumuladas associadas a cada um dos valores-limite dos intervalos para as diferentes escalas (Tabela 7), demonstrando a importância da aferição da escala de classificação de acordo com os reais impactos ocorridos em situações de seca.

3.4.2. Precipitation Drought Severity Index (PDSI)

Desenvolvido em 1965, por *Wayne Palmer* (Palmer, 1965), o PDSI foi dos primeiros índices de seca a serem utilizados e pressupõe uma avaliação da evolução das condições de humidade do solo, tendo por base o conceito de *supply-and-demand* da equação de balanço hídrico.

O objectivo principal é o de permitir a comparação entre regiões e a análise da evolução temporal reagindo às condições meteorológicas quer sejam anormalmente secas ou anormalmente húmidas.

Para isso foi desenvolvido um procedimento que, tendo por base um conjunto de relações empíricas para padronização das necessidades de humidade do solo, atendendo às normais climáticas da região, permite o cálculo do deficit ou *surplus* das condições de humidade da região em causa.

Os principais inputs para o cálculo do PDSI são dados de precipitação e temperatura, pelo que este índice pode ser considerado na avaliação da fase meteorológica.

Não obstante, como a sua base de cálculo assenta na estimativa de humidade do solo, poderá ser considerado, para avaliação dos efeitos de seca ao nível do solo.

A escala de classificação de severidade definida originalmente para este índice (Palmer, 1965) teve por base as características das situações de seca verificadas em regiões do *Iowa* e *Kansas*, sendo apresentada na Tabela 8.

Em Portugal, o PDSI é determinado pelo Instituto de Meteorologia, IP (Pires, 2003) e serve de base à avaliação e alerta da designada situação de seca meteorológica (IM, 2008), tendo sido o principal índice de seca considerado na avaliação da Seca de 2005.

Tabela 8. Escala de classificação do PDSI (Palmer, 1965).

PDSI	CLASSIFICAÇÃO SEVERIDADE
> 4.0	EXTREMAMENTE HÚMIDO
3.0 A 3.99	BASTANTE HÚMIDO
2.0 A 2.99	MODERADAMENTE HÚMIDO
1.0 A 1.99	LIGEIRAMENTE HÚMIDO
0.5 A 0.99	EXCESSO DE HUMIDADE INCIPIENTE
-0.49 A 0.49	NORMAL
-0.99 A -0.49	DEFICIT DE HUMIDADE INCIPIENTE
-1.99 A -1.0	SECA LIGEIRA
-2.99 A -2.0	SECA MODERADA
-3.99 A -3.0	SECA SEVERA
< -4.0	SECA EXTREMA

Por esse motivo, foi considerada a comparação, para a área de análise, dos resultados deste índice com os correspondentes do IES e do SPI, para o ano hidrológico de 2004/05. Porém, na falta de resultados numéricos para o PDSI, foi considerada a classificação descrita através dos mapas mensais divulgados (CPS, 2005) e comparada com a classificação genérica proposta para o IES (Tabela 2).

No caso do SPI, pretendendo-se que este constituísse um elemento de controlo e dada a maior proximidade aos valores do IES, foi considerada a classificação adaptada (Class Sp). Os resultados surgem descritos na Tabela 9.

Tabela 9. Comparação das classificações segundo as escalas: original do PDSI, adaptada do SPI (Class Sp) e a proposta para o IES (Tabela 2). Ano hidrológico de 2004/05.

	SPI CLASS SP	IES	PDSI
OUT-04	LIGEIRA	MODERADA	LIGEIRA
NOV-04	MODERADA	SEVERA	MODERADA
DEZ-04	SEVERA	SEVERA	SEVERA
JAN-05	SEVERA	EXTREMA	EXTREMA
FEV-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
MAR-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
ABR-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
MAI-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
JUN-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
JUL-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
AGO-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA
SET-05	EXTREMA	EXTREMA	EXTREMA

Tabela 7. Frequências acumuladas associadas às escalas de classificação dos resultados do SPI, original e adaptada (Class Sp) e ainda da escala definida para classificação dos valores do IES (Tabela 2).

CLASSIFICAÇÃO	SPI ORIGINAL	FREQ. ACUMULADA	SPI CLASS SP	FREQ. ACUMULADA	IES	FREQ. ACUMULADA
SECA LIGEIRA	-0,99 A 0	34,1%	-0,675 A 0	25,0%	-	-
SECA MODERADA	-1,49 A -1,00	9,2%	-1,28 A -0,675	15,0%	-0,5 A -0,25	10,0%
SECA SEVERA	-1,99 A -1,50	4,4%	-1,65 A -1,29	5,0%	-0,75 A -0,5	10,0%
SECA EXTREMA	MENOS DE -2,00	2,3%	MENOS DE -1,65	5,0%	MENOS DE -0,75	10,0%

3.4.3. Índice de Estado

No caso do sistema de avaliação de secas espanhol (Estrela *et al.*, 2006) foi definido um procedimento específico com base em variáveis hidrológicas: dados de escoamento em estações hidrométricas, níveis piezométricos em sistemas aquíferos e volumes armazenados em albufeiras. Uma vez que estas variáveis não são directamente comparáveis, foi definido um índice adimensional, de estado, para comparação com as respectivas séries históricas de registos (Estrela *et al.*, 2006), dado por [3] e [4]:

Nomeadamente:

$$V_i \geq V_{med} \Rightarrow I_{Sp} = \left[1 + \frac{V_i - V_{med}}{V_{max} - V_{med}} \right] \quad [3]$$

$$V_i < V_{med} \Rightarrow I_{Sp} = \frac{V_i - V_{min}}{2(V_{med} - V_{min})} \quad [4]$$

Sendo V_i a variável de análise, V_{min} o valor mínimo da série de registos, V_{max} o valor máximo e V_{med} a média, os resultados deste índice variam entre 0 e 1 (Figura 10).

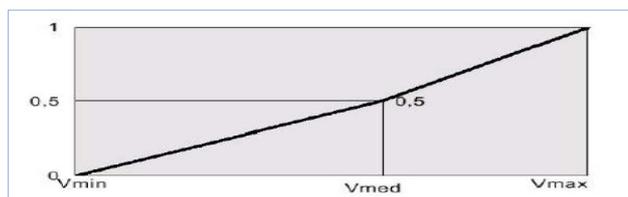


Figura 10. Exemplo de variação do índice de estado em função do valor da variável em análise V_i (Estrela *et al.*, 2006).

Este índice é utilizado na avaliação e gestão de secas em Espanha tendo, inclusive, servido para a definição de estratégias de actuação, segundo diferentes níveis de seca, nos Planos Especiais de Seca, como o desenvolvido para a parte espanhola da bacia do Guadiana (CHG, 2007). Por outro lado, nas bacias internacionais, partilhadas entre Portugal e Espanha (como é também o caso da bacia do Guadiana), segundo o estipulado na Convenção de Albufeira (Resolução da Assembleia da República nº 66/99) deve ser assegurada a coordenação, entre ambos os países, a gestão e adopção de medidas em situações de seca. Nesse sentido, deverá existir uma compatibilidade de resultados na avaliação de secas efectuada em bacias partilhadas. Não é de estranhar, portanto, que, atendendo a essa necessária compatibilidade, a formulação de base do IES seja similar à do índice de estado, até porque o índice espanhol serviu, também ele, de modelo ao índice agora proposto. Não obstante, o esquema e abordagem de avaliação que lhes está associado apresenta algumas diferenças significativas. Além do intervalo de variação distinto ($[-1, 1]$ no caso do IES e $[0, 1]$, no caso do índice de estado), verifica-se que o índice espanhol se baseia unicamente na comparação de qualquer variável, com a média correspondente, enquanto o IES poderá assumir um valor de referência distinto como, por ex., o volume anual de utilizações associadas a uma origem. Por outro lado, no caso espanhol, apesar da selecção de indicadores ser feita de acordo com a representação das disponibilidades, para as utilizações mais significativas, verifica-se que, em alguns sistemas, não é avaliada a precipitação, facto subjacente à própria natureza do sistema de avaliação, hidrológica (CHG, 2007).

Tal significa que, no índice de estado final, por sistema de exploração, a representação de alguns potenciais impactos de seca, como os efeitos nas culturas de sequeiro, florestas e principais ecossistemas será reduzida. No caso da abordagem proposta para o IES é, por sua vez, realçada a necessidade e importância da avaliação da precipitação, sendo a variável representativa da origem de uma seca, que permite o alerta para o surgimento deste tipo de situações e, inclusivamente, o único elemento da avaliação de secas que permite a distinção face a situações de escassez (excesso de utilizações face às disponibilidades naturais mobilizáveis).

Por último, a apresentação dos resultados para o índice de estado é feita de forma global, por sistema de exploração, ou até por bacia, sem indicação dos resultados parciais dos diferentes indicadores. No caso da nova abordagem proposta com o IES pretende-se que se tenha a noção exacta da evolução dos efeitos de seca nas diferentes fases do ciclo hidrológico. Por esse motivo, uma ponderação num índice final único, com o objectivo de facilitar a adopção de medidas, não deverá substituir a avaliação e divulgação dos resultados parcelares dos indicadores de base. Descritos os principais pontos de proximidade e de separação entre os dois índices e metodologias de avaliação associadas, importa efectuar uma comparação de resultados, de forma a comprovar a desejada compatibilidade entre ambos. Partindo dos dados de base disponíveis para a parte espanhola do Guadiana (SIA, 2008), valores mensais de precipitação ponderada para toda a parte espanhola da bacia, de Setembro de 1963 a Setembro de 2006, aos quais foi aplicada a formulação do índice de estado (Eq [3] e [4]), a comparação de resultados foi efectuada considerando a aplicação do índice IES a dados de precipitação ponderada para toda a parte portuguesa da bacia do Guadiana, no período em questão (obtidos a partir da ponderação das áreas de influência pelo método dos polígonos de Thiessen para as estações activas do SNIRH nessa área, naquele período). Os resultados foram descritos na mesma base temporal (Figura 11), tal como para o SPI no ponto 3.4.1, e directamente correlacionados (Figura 12). Como se pode comprovar, apesar da diferença no intervalo de variação de resultados, anteriormente referida, a proximidade dos índices pode ser considerada razoável, sendo o coeficiente de correlação linear superior a 0,7.

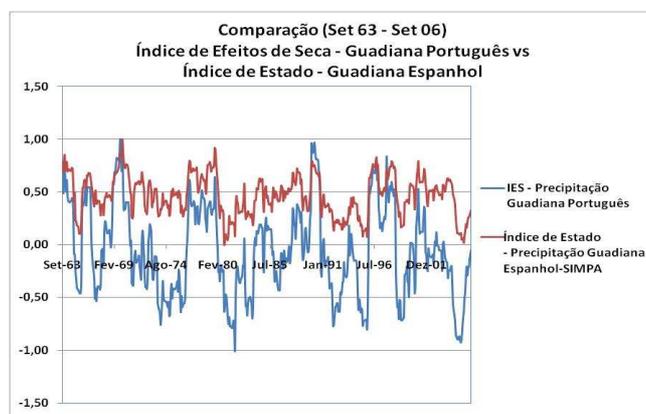


Figura 11. Comparação de resultados do IES (aplicado a dados de precipitação média da parte portuguesa da bacia do rio Guadiana) com resultados do índice de estado (dados de precipitação média da parte espanhola da bacia) - séries de valores de Set 63 a Set 06.

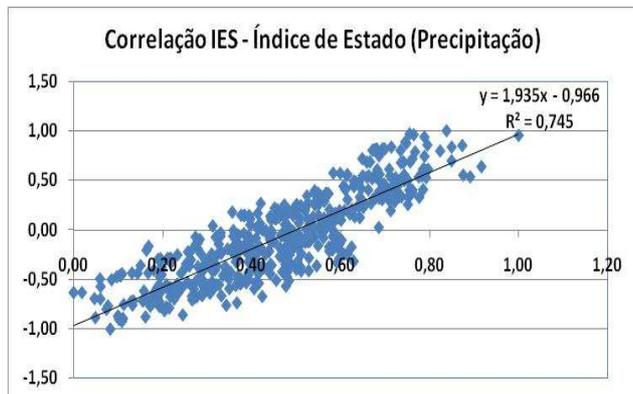


Figura 12. Correlação dos resultados do IES (dados de precipitação média da parte portuguesa da bacia do rio Guadiana) com resultados do índice de estado (dados de precipitação média da parte espanhola da bacia) - séries de valores de Set 63 a Set06.

4. Conclusões

Do presente trabalho é possível concluir que, sendo a avaliação meteorológica, a partir da precipitação, o nível mais importante para alerta de uma seca, a evolução dos seus efeitos deverá ser avaliada, também, segundo os níveis do solo, hidrológicos e operativos.

No caso da abordagem de avaliação dos efeitos de seca proposta, a aplicação ao caso de estudo permite verificar a sua maior valia enquanto metodologia de avaliação de diferentes variáveis (precipitação, escoamento, níveis piezométricos, volumes armazenados), representativas de fases distintas do ciclo hidrológico. É, ainda, demonstrado como poderá ser obtido um índice final único, por ponderação dos resultados do IES para os diferentes indicadores, devendo, esse procedimento, reflectir as características socio-económicas da região.

Por outro lado, a proximidade do IES face a índices como o SPI e até o PDSI, comprovam a validade da sua aplicação na avaliação meteorológica, enquanto a compatibilidade com o Índice de Estado Espanhol torna viável a sua aplicação e avaliação em bacias partilhadas entre Portugal e Espanha.

Como nota final importa referir que a adaptação desta metodologia a diferentes regiões deverá ser assegurada pela definição específica de: (i) indicadores representativos, (ii) valores de referência (para o IES) e (iii) intervalos da escala de classificação. No caso dos níveis de severidade, a sua aferição deverá ser feita de acordo com os reais impactos sentidos e do grau de prevenção pretendido.

Referências

CEC (2007), *Communication from the commission to the European Parliament and the Council - Addressing the challenge of Water Scarcity and Droughts in the European Union*, Commission of the European Communities;

CHG (2007), *Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Guadiana*, Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG), Ministerio del Medio Ambiente, Espanha, Badajoz.

CPS (2005), *Relatório de Balanço da Seca 2005*, Comissão para a Seca 2005, INAG, Janeiro de 2005.

DG Env EC (2007), *Drought Management Plan Report - Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects*, Water Scarcity and Droughts Experts Network, Directorate General Environment, European Commission, Brussels, Novembro de 2007;

EDIA (2009), *Homepage da Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas de Alqueva - Mapa de Infra-estruturas*, [Online], Disponível: http://sigims.edia.pt/website/internet/mapa_infra_e_struturas/ [Outubro de 2009];

Estrela, T., Fidalgo, A., Pérez, M. (2006), *Droughts and the European water framework directive: Implications on Spanish river basin districts*, em Andreu, J., Rossi, G., Vagliasindi, F., Vela, A. (eds), *Drought Management and Planning for Water Resources*, Taylor & Francis Group, 2006, ISBN 1 56670 672 6, pp 169-191;

Heim Jr, R. (2002), *A review of Twentieth-Century Drought Indices used in the United States*, in Bulletin of the American Meteorological Society, USA, pp. 1149-1165.

IM (2008), *Homepage de Instituto de Meteorologia, IP Portugal*, [online], Disponível: <http://www.meteo.pt/> [Outubro de 2009].

INAG (2000), *Plano de Bacia Hidrográfica do Guadiana*, Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, 2000;

Maia, R. (2009), *Use and allocation of water resources among the agricultural, urban, and environmental sectors to maximize environmental, economic and social welfare in the Moura-Serpa-Mértola region*, em Assimacopoulos, D. (ed.), *Mitigation of Water Stress through new Approaches to Integrating Management, Technical; Economic and Institutional Instruments - Water Stress Mitigation: The AquaStress Case Studies*, Aquastress Project Consortium publication, Alfapi, Grécia, pp 36-49.

MAOTDR (2007), *Water Scarcity and Droughts - A priority of the Portuguese Presidency*, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, Portugal, 2007, ISBN 978-989-8097-08-8

Mckee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, (1993). *The relationship of drought frequency and duration of time scales*. Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.

MEDROPLAN (2007), *Drought Management Guidelines*, Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, D., López-Francos, A., Moneo, M., Rossi, G. (eds), *Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN)*, European Commission - EuropeAid Co-operation Office, Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water), 2007

Palmer, W.C. (1965), *Meteorologic Drought*, U.S. Weather Bureau, Research Paper 45, 65 pp.

Pires, V. (2003), *Frequência e Intensidade de Fenómenos meteorológicos extremos associados a precipitação*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra, Lisboa.

SIA (2008), *Homepage do Sistema Integrado de Información del Agua*, Disponível:
<http://servicios3.mma.es/siagua/visualizacion/descargas/documentos.jsp>, Ministério del Medio Ambiente y Medio Rural y Mariño, [Outubro 2009].

SNIRH (2009), *Homepage do Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos*, Disponível: <http://snirh.pt>[online], Instituto da Água, I.P. [Outubro 2009];

Steinmann, A.; Hayes, M; Cavalcanti, L. (2005), *Drought Indicators and Triggers*, in *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*, Wilhite, D. (ed), CRC press - Taylor & Francis group, ISBN: 0-847-2771-1, 2005, pp.71-92.

Wilhite, D., Buchanan-Smith, M., *Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context*, em Wilhite, D. (ed.), *Drought and Water Crises – Science, Technology and Management issues*, Taylor & Francis, 2005, ISBN 0 847 2771 1, pp 3-29.