

# MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE SECAS PARA APOIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

## *DROUGHT ASSESSMENT METHODS FOR SUPPORT OF WATER RESOURCES MANAGEMENT*

**Eduardo VIVAS**

Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Telefone: +351 22 83 40 500, Fax: +351 22 83 21 159, email: [ebv@isep.ipp.pt](mailto:ebv@isep.ipp.pt)

**RESUMO:** A ocorrência de impactos de seca muito significativos, em regiões como o sul da Europa, deve-se não só às características naturais do clima, mas também à intensificação da utilização da água (potenciando problemas de escassez). Porém, a análise dos impactos de seca é dificultada pela variabilidade dos mesmos, no espaço e no tempo, uma vez que cada região apresenta características únicas de utilizações, infraestruturas, organização social e política, etc. Como tal, a gestão de secas deverá ser enquadrada no âmbito da análise e gestão de risco, devidamente moldada às vulnerabilidades da região.

Nesse contexto, apresenta-se uma análise comparativa de alguns dos principais métodos de avaliação de secas disponíveis para apoio à gestão de recursos hídricos, nomeadamente: (i) a utilização de um índice de seca único, (ii) a consideração simultânea de múltiplos índices de seca e (iii) o recurso à avaliação socioeconómica de potenciais impactos de seca.

**Palavras-chave:** avaliação e gestão de secas, índices de seca, índices múltiplos, avaliação socioeconómica de impactos.

**ABSTRACT:** *The occurrence of very significant drought effects in regions as Southern Europe is a consequence of the natural climate characteristics, but also of the intensification of water uses (potentiating water scarcity problems).*

*However, the assessment of drought impacts is aggravated by the temporal and spatial variability of those effects, since each region has unique characteristics of water uses, infrastructures, social and political organization, etc. Therefore, the drought management should be framed under the risk assessment and management approach, taking into account the existing regional vulnerabilities.*

*Thus, it is herein presented a comparative analysis of some of the main drought assessment methods available for support of water resources management, namely: (i) the assessment through a single drought index, (ii) the use of multiple drought indices and (iii) the use of the socioeconomic assessment of potential drought effects.*

**Keywords:** *drought assessment and management, drought indices, multiple indices, socioeconomic assessment of drought impacts.*

## 1. ENQUADRAMENTO

As secas são um fenómeno natural que afeta todas as regiões do mundo. Não obstante, podem ocorrer com maior frequência, intensidade, ou efeitos mais graves, em algumas regiões. Face à grandeza e importância dos impactos de secas, estas deverão ser encaradas como um fenómeno natural que pode assumir características extremas, se não existirem capacidades de gestão adequadas (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005).

De facto, na União Europeia, as situações de seca surgem como uma das principais preocupações ao nível das políticas de gestão de recursos hídricos. Segundo DG Env EC (2007) verificou-se, na UE, a ocorrência regular de secas entre 1976 e 2006, tendo, os eventos mais severos, afetado mais de 800.000 km<sup>2</sup> (37% do território) e cerca de 100 milhões de habitantes (1/5 da população). Quanto ao impacto global médio das secas, as estimativas de perdas económicas na UE, nesse período, rondaram os 100 mil M€.

Porém, os impactos de seca não são similares aos de outros desastres naturais. Devido ao desenvolvimento lento destas situações, os seus efeitos são cumulativos e de difícil perceção, sendo comum que, detetada a ocorrência desses efeitos, seja praticamente nula a hipótese de mitigação (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005).

Por outro lado, a ocorrência de impactos muito significativos, em especial em regiões como o sul da Europa, deve-se, não só ao clima, tendencialmente semiárido e com episódios de seca frequentes, mas também à intensificação da utilização da água (DG Env EC, 2007).

A gestão de situações de seca deverá, então, ser enquadrada no âmbito da análise e gestão de risco, devidamente moldada às características da região (Wilhite *et al.*, 2007). Para tal, será necessário que o método de avaliação considerado incorpore a análise do perigo, subjacente ao fenómeno meteorológico em si (redução de precipitação), mas também reflita a vulnerabilidade da região, dependente do tipo de utilizações de água na área, do grau de reserva (armazenamento) e da capacidade de satisfação das mesmas (infraestruturas existentes).

## 2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE SECAS PARA APOIO À GESTÃO

Existem múltiplos métodos para avaliação de secas, assentes em índices e tomando como base diferentes escalas temporais e espaciais de avaliação (Hayes *et al.*, 2005; Vivas, 2011).

Focando, especialmente, as dificuldades inerentes à gestão de secas, os métodos de avaliação deverão permitir detetar o início e o fim deste tipo de situações, mas também a sua evolução. Deverão, ainda, facilitar a avaliação da abrangência espacial, bem como dos potenciais efeitos de seca. Por outro lado, este tipo de ferramentas constituirá a base preferencial para o planeamento e prevenção de secas, nomeadamente auxiliando a definição prévia de medidas, ou identificação das entidades a envolver, na área afetada, na gestão destas situações, de acordo com o nível de severidade de seca.

Atendendo à experiência mundial existente na avaliação e gestão de situações de seca (DG ENV EC, 2007a; Wilhite, 2009) poderá considerar-se que são correntes, fundamentalmente, dois tipos de avaliação de secas: (i) utilização de um índice de seca único e (ii) utilização de índices múltiplos. Em complemento, poderá ser considerado um terceiro método, especialmente focado nos objetivos de gestão e que assenta na caracterização da severidade com base na avaliação socioeconómica de impactos de seca.

### 2.1. Índice de seca único

A escolha de um índice de seca deverá atender a que, estas situações têm início com a afetação das condições de precipitação face ao normal, para a região e época, podendo conduzir a uma propagação do défice de humidade no ciclo hidrológico, caso este se verifique por um período de tempo suficientemente longo.

Partindo das variáveis monitorizadas nas diferentes fases do ciclo hidrológico, a definição de índices de seca terá como objetivo efetuar uma avaliação das mesmas face às características consideradas “normais”. Para isso é necessária a existência de uma monitorização contínua e de séries de registos suficientemente longas. Além disso, esses índices podem ser determinados por uma variável, ou por agregação de diversas variáveis.

Este artigo foi apresentado no 12º Congresso da Água e selecionado para submissão e possível publicação na *Recursos Hídricos*, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em 30 de abril de 2014. Este artigo é parte integrante da Revista *Recursos Hídricos*, Vol. 35, N.º 2, 89-97, novembro de 2014.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh35n2-8

Considerando uma análise exclusiva do parâmetro precipitação, alguns dos principais índices de seca correspondem: à Percentagem da Normal, aos Decis e ao *Standardized Precipitation Index - SPI* (Gibbs & Maher, 1967; Mckee *et al.*, 1993; Vivas, 2011). Embora a definição destes índices assente em abordagens e níveis de complexidade diferenciados, a avaliação deste género de índices é eficaz para aplicação a apenas uma região ou época do ano. No entanto, a avaliação da precipitação restringe a representatividade de impactos de seca, sendo normalmente adotadas diferentes escalas temporais de precipitação acumulada (3, 6 meses, etc.) para previsão de eventuais impactos a nível hidrológico ou operativo (embora essa representatividade varie entre regiões).

Por outro lado, existem índices que procuram, desde logo, avaliar o equilíbrio entre disponibilidades e necessidades. Neste caso, assumem uma representação pelo balanço entre os níveis de humidade disponíveis (precipitação, ou humidade do solo) e as necessidades, traduzidas pelos níveis de evapotranspiração (mais representativos dos consumos agrícolas). Desses índices destacam-se o *Palmer Drought Severity Index - PDSI*, o *Crop Moisture Index - CMI*, o *Reconnaissance Drought Index - RDI* ou o *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI* (Palmer, 1965; Palmer, 1968; Tsakiris & Vangelis, 2005; Vicente-Serrano *et al.*, 2010). Apesar de possuírem formulações muito distintas e de, a análise em causa variar entre o cálculo do *deficit* resultante e o rácio entre os valores de humidade e os de evapotranspiração, estes índices permitem a introdução da componente da temperatura na avaliação de seca. Nesse sentido, possibilitam também a incorporação de efeitos de longo prazo, como é o caso de eventuais alterações climáticas. Por outro lado, alguns desses índices (PDSI e CMI) constituem um importante auxiliar de gestão agrícola, seja para análise de impactos nas culturas de sequeiro, ou para estimativa das necessidades de rega das culturas de regadio. Não obstante, estes índices não refletem diretamente os possíveis impactos a nível hidrológico / operativo e as suas escalas de classificação refletem as características de impactos das regiões para as quais foram desenvolvidos (podendo não se adaptar a outras regiões).

Por fim, refira-se a existência de índices, como o *Normalized Difference Vegetation Index - NDVI* (Rouse *et al.*, 1973) que, utilizando informação de satélite (externa à superfície terrestre), permitem eliminar alguns problemas

associados às falhas das redes de monitorização (falta de manutenção, etc.) e caracterizar, de forma contínua no tempo e espaço, uma vasta área. No entanto, a deteção e avaliação de seca é centrada, essencialmente, na análise de impactos na vegetação, em especial de sequeiro, sendo de difícil previsão a evolução das restantes áreas agrícolas (regadio), bem como dos potenciais impactos sobre outros sectores.

Da análise efetuada e existindo considerável experiência mundial na aplicação dos tipos de índices de seca descritos, destacando-se a utilização dos decis na Austrália, do PDSI, SPI ou NDVI nos EUA e posteriormente disseminados por todo o mundo, incluindo Portugal, verifica-se, todavia, que nenhum índice é globalmente melhor do que os outros, embora existam alguns mais adaptados a certos tipos de situações e/ou regiões (Heim, 2002; Steinemann *et al.*, 2005; Wilhite, 2009; Vivas, 2011). Além disso, alguns destes índices são de determinação complexa, o seu significado nem sempre é facilmente compreensível e, globalmente, não permitem avaliar uma seca segundo a sua evolução, de acordo com a afetação que este tipo de situações induz no ciclo hidrológico de uma dada região.

## 2.2. Avaliação por índices múltiplos

Face ao referido no ponto anterior, verifica-se que, em sistemas com considerável nível de regulação, a caracterização de secas deverá ter por base diferentes tipos de avaliações/ variáveis, atendendo às especificidades da região (Hayes *et al.*, 2005; Wilhite, 2009). Como exemplo, poderá referir-se que, numa região cuja principal utilização seja a agricultura de regadio, a ocorrência de impactos não estará tão dependente da afetação da precipitação (como em áreas de sequeiro), mas mais do armazenamento em albufeiras ou aquíferos.

Como experiências relevantes na avaliação de secas com base em índices múltiplos, (ainda que integrados numa avaliação global final), destacam-se: (i) nos EUA, o *US Drought Monitor*, impulsor, desde 1999, deste tipo de avaliação (Svoboda *et al.*, 2002), e (ii), na Europa, o sistema de indicadores de Espanha, primeiro sistema de avaliação de secas Europeu a agregar informação de diferentes variáveis (DGA, 2005).

### 2.2.1. US Drought Monitor (EUA)

O US Drought Monitor (USDM) providencia uma avaliação semanal de seca desde Agosto de 1999, para as diferentes regiões dos EUA, sendo mantido por: *National Weather Service's Climate Prediction Center* (NOAA), *U.S. Department of Agriculture* (USDA) e *National Drought Mitigation Center* (NDMC) da *University of Nebraska - Lincoln* (NDMC, 2006). A parceria entre estas instituições possibilitou o desenvolvimento de um mapa que integra, em permanência, informação de vários índices, procurando ser de fácil leitura e compreensão, com um código de cores indicativo da severidade de seca. OUS Drought Monitor é parte integrante do *National Drought Information System - NIDIS*<sup>1</sup> (NIDIS, 2014).

Importa notar que este mapa (Figura 1) não pretende funcionar como uma previsão, mas antes como uma avaliação da situação atual (Svoboda et al, 2002). O mapa identifica, ainda, os locais mais afetados, a nível de

impactos de curto prazo (letra S - afetação da vegetação, pastagens e prados) e a nível de impactos de longo prazo, (letra L - impactos no escoamento superficial, níveis de águas subterrâneas e albufeiras) (NDMC, 2014).

As categorias de severidade de seca (D0 a D4), identificadas na Figura 1, são globalmente definidas com base numa avaliação composta, a partir de 5 índices principais (NDMC, 2014): (i) *Palmer Drought Severity Index* (PDSI), (ii) *Standardized Precipitation Index* (SPI), (iii) *CPC Soil Moisture Model*, (iv) *USGS Weekly Streamflow*, (v) *Short and Long Term Drought Indicator Blends*.

Para o mapa final do USDM, estes 5 índices principais são conjugados e ponderados numa classificação única final (de severidade) (Svoboda et al, 2002). As classes de severidade finais (D0- *Abnormally dry* a D4- *Exceptional Drought*) são obtidas atendendo às classes de frequências de ocorrência verificadas nos diferentes índices. Não obstante, em algumas situações, como a classificação dos índices não coincide, a classificação final acaba por ser

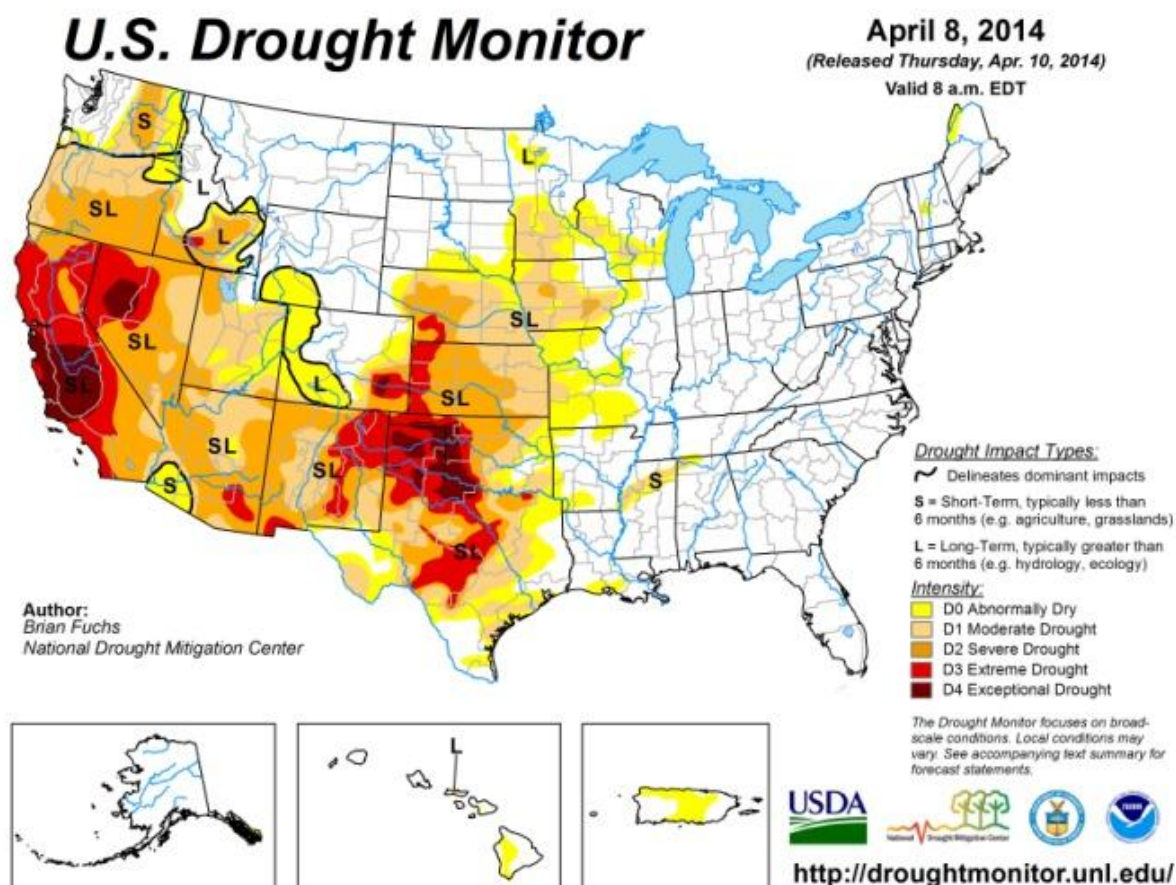


Figura 1 - Exemplo de mapa do US Drought Monitor (NIDIS, 2014).

1 - [www.drought.gov](http://www.drought.gov)

dada pela indicada pela maioria dos índices (NDMC, 2014).

Desde o seu lançamento, o *US Drought Monitor* tem sido alvo de um elevado interesse público. A principal mais-valia apontada corresponde à simplicidade do mapa de resultados e à objetividade associada a um sistema de classificação único. É importante salientar que esta avaliação global pode não corresponder exatamente à realidade local, sendo essa, aliás, uma das principais limitações habitualmente apontada a este tipo de avaliação (Steinemann *et al.*, 2005). Por esse motivo, os especialistas envolvidos na elaboração do mapa, ponderam os diferentes índices de acordo com as características das regiões e a sua melhor ou pior representação da ocorrência de impactos, para diferentes épocas do ano. São também considerados alguns índices adicionais, como na região Oeste dos EUA, para melhor caracterizar o estado das origens (função dos níveis de gelo e neve) (NDMC, 2014).

### 2.2.2. Sistema de Indicadores Hidrológicos (Espanha)

Em Espanha, o Plano Hidrológico Nacional (*Ley 10/2001* de 5 de Julho) fomentou uma maior prevenção e planeamento na gestão de secas, levando, inclusive: (i) à definição de um sistema de indicadores hidrológicos de avaliação de secas e (ii) ao desenvolvimento de planos especiais por parte das autoridades responsáveis (Estrela *et al.*, 2006). Nesse contexto, houve um estudo das utilizações, disponibilidades e balanço hídrico que teve em conta as características da infraestrutura existente, os transvases entre zonas e subzonas e ainda a localização das principais utilizações. Para melhor caracterizar os efeitos de seca, foi, ainda, efetuada uma subdivisão da bacia e dos correspondentes sistemas de exploração, em zonas homogéneas, de acordo com o tipo de origem de água e considerando que as utilizações deverão ser adstritas à área em que assentam fisicamente. Para estas zonas foram definidos indicadores representativos, partindo de (DGA, 2005):

- Volumes armazenados em albufeiras;
- Níveis piezométricos em sistemas aquíferos;
- Escoamento superficial em estações hidrométricas representativas;
- Descargas em albufeiras;
- Pluviometria em estações representativas;

- Reservas de água armazenada sob a forma de neve e gelo (em zonas montanhosas).

Para tornar possível a padronização e comparação dessas variáveis foi desenvolvido o Índice de Estado, aplicável a qualquer variável e tendo vista a obtenção de uma classificação final única, por ponderação dos diferentes tipos de indicadores (Estrela *et al.*, 2006). O objetivo final foi o da obtenção de mapas onde, para cada zona, sistema de exploração, ou bacia, a situação atual fosse comparada com o passado histórico, permitindo, com um esquema de classes e cores (Figura 2), a declaração das situações críticas e da necessidade de adoção de medidas (Prieto, 2005).

Subjacente à natureza do sistema de avaliação (hidrológica), a seleção de indicadores foi feita de acordo com a representatividade das disponibilidades para as utilizações mais importantes, sendo a ponderação, por zona, sistema de exploração, ou bacia, dada pela ordem de grandeza (volume) das utilizações que cada indicador representa (Prieto, 2005).

Teoricamente, a avaliação de índices múltiplos corresponde à avaliação ideal de situações de seca, uma vez que a consideração de diferentes índices permite atender às características específicas de cada região, tanto no que toca às principais utilizações, como às diferentes origens, representando, de forma diferenciada, os tipos de impactos de seca. Além disso, a implementação e utilização de uma avaliação única torna o processo de tomada de decisão e de adoção de medidas, bastante mais facilitados e sistemáticos.

Porém, os principais problemas associados a este tipo de avaliações (Steinemann *et al.*, 2005; Steinemann & Cavalcanti, 2006) prendem-se com a comum falta de consistência temporal ou espacial dos diferentes índices, em especial no que diz respeito aos valores limite considerados para a sua classificação. Verificam-se, habitualmente, diferentes probabilidades de ocorrência para uma mesma classe de seca, bem como uma representatividade distinta, para diferentes regiões, de um mesmo valor dos índices. Além disso, a ponderação é de difícil avaliação, não só pela natureza complexa do ciclo hidrológico e das interações das utilizações com os recursos hídricos da região, como pela complexidade associada à ocorrência de impactos de seca, agravada pelos poucos registos fidedignos disponíveis. Tal leva a que, essa ponderação esteja, muitas vezes, sujeita à subjetividade de quem a define, afetando a representatividade do resultado final.



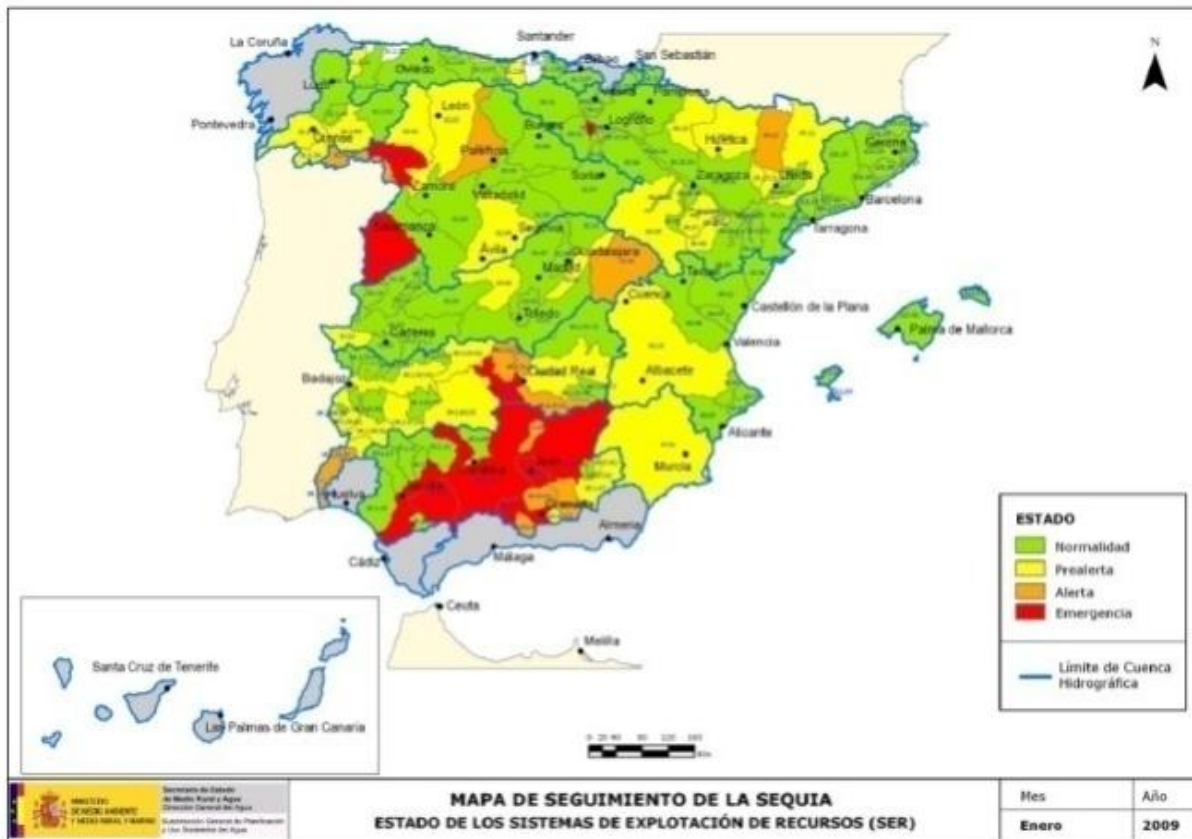


Figura 2 - Mapa de acompanhamento da situação de seca em Espanha (MAGRAMA, 2014).

### 2.3. Avaliação socioeconómica de seca

Tal como referido anteriormente, a gestão de secas pressupõe a gestão de riscos e, como tal, a tomada de decisão em condições de incerteza. Nessa linha, a multiplicidade e complexidade de objetivos nos diversos planos (ambiental, social, legal, institucional, etc.), aumentam a dificuldade da tarefa, obrigando a uma decisão fundamentada e apoiada em processos de avaliação consistentes, perceptíveis e tão objetivos quanto possível (Green, 1993). Por outro lado, a importância crescente dos impactos de seca impõe um aprofundamento e melhoramento da avaliação de impactos, para apoio na avaliação e gestão dos riscos e justificação das políticas de mitigação (Changnon *et al*, 2000).

De facto, a importância dos impactos de seca poderá ser quantificada economicamente, como afetação do benefício económico de uma região (Ding *et al*, 2010), facilitando a comparação entre sectores, regiões e situações de seca. Um ponto base da avaliação económica de impactos de seca consiste na identificação

de aspetos positivos e negativos das consequências esperadas, i.e., genericamente (Green, 1993):

- Quantificar a natureza da alteração em causa (e.g. volumes em défice);
- Especificar a alteração de forma a poder ser relacionada com um valor económico;
- Avaliar a dimensão da população, grupo(s) ou sector(es) afetado(s) pela alteração;
- Quantificar, de forma aproximada, o benefício, ou custo, dessa alteração.

Sendo, ainda, escassos os trabalhos existentes nesta matéria (Ding *et al*, 2010) e, verificando-se algumas diferenças significativas nos conceitos de base considerados (Kraemer, 2007; Mysiak & Markandya, 2010), existem, todavia, alguns estudos que envolvem a quantificação económica de perdas em diferentes sectores utilizadores, devido a situações de seca (Ward *et al*, 2001, 2006; Valiñas, 2006) incluindo, no que toca à realidade portuguesa, alguns trabalhos recentes (Vivas, 2011; Maia *et al*, 2013; Vivas & Maia, 2013).

Nesses trabalhos, que estiveram, ainda, na génese do desenvolvimento de um Sistema de Previsão e Gestão de Secas (Batista *et al.*, 2012), a avaliação socioeconómica de impactos de seca foi abordada como uma avaliação de apoio à gestão operativa de secas, permitindo uma classificação de severidade, de acordo com a importância socioeconómica dos impactos de seca expectáveis nos principais sectores utilizadores das regiões afetadas.

Tendo sido adotadas a área portuguesa da bacia do Guadiana e a região hidrográfica das Ribeiras do Algarve como áreas-piloto para o desenvolvimento da metodologia de avaliação socioeconómica de impactos de seca, os principais setores utilizadores considerados foram o abastecimento urbano e a agricultura. No primeiro caso, a estimativa de impactos foi efetuada considerando os custos adicionais na garantia do abastecimento de zonas afetadas (a partir de novas origens). No caso da agricultura, a estimativa de impactos foi efetuada atendendo às perdas de produtividade, face a anos medianos, de culturas representativas, distinguindo os efeitos de seca nas culturas de sequeiro, mais vulneráveis aos défices de precipitação, dos passíveis de ocorrerem em culturas de regadio, dependentes dos níveis de armazenamento nas principais origens de água. Por fim, os sobrecustos para a pecuária, por aquisição de ração, face à afetação das pastagens foram também incluídos nessa avaliação.

Tratando-se de estimativas económicas (em €), a agregação e comparação direta e objetiva dos impactos de diferentes setores torna-se, então, possível e facilitada. Essa agregação pode ser considerada por setor utilizador, por exemplo no caso da agricultura, para integrar os efeitos nas culturas de sequeiro e regadio (comparando com a importância económica do setor, nas diferentes regiões, em ano mediano) e por região (agregando os impactos dos diferentes setores afetados e comparando com o PIB dessa área). Por outro lado, a avaliação socioeconómica de seca pode ser considerada na caracterização da situação atual (efeitos verificados no período de um ano, por ex., até ao presente), ou na projeção dos efeitos passíveis de serem verificados até ao final do ano hidrológico (recorrendo, para isso, a cenários de precipitação de acordo com as características da região e à modelação das principais origens para estimativa das disponibilidades). Neste último caso, torna-se possível, inclusive, corresponder às orientações de modelação de impactos de seca, tal como apontado em Ding *et al.* (2010) e Travis & Klein (2012), permitindo,

também a ligação à gestão operativa, com a definição de medidas para os níveis de severidade expectáveis.

Obviamente, a avaliação socioeconómica de seca também apresenta limitações. Em primeiro lugar refira-se que essas análises têm, normalmente, por base estimativas de impactos diretos, tangíveis, ou seja, não globais. De igual forma, a classificação de severidade deverá ter por base uma representatividade dos impactos a nível histórico, o que implicaria uma análise estatística de impactos, baseada em séries longas de registos para diferentes sectores e regiões, normalmente inexistentes (Travis & Klein, 2012). De facto, a compilação de dados de impactos de forma homogeneizada e padronizada é mesmo identificada como uma necessidade, na Europa (Kraemer, 2007; Mysiak & Markandya, 2010), com vista à uniformização, sistematização e suporte da avaliação económica dos mesmos.

### 3. CONCLUSÕES

Para situações similares de seca, os impactos resultantes serão tanto mais significativos quanto mais intensas forem as utilizações de água na região. Por esse motivo, a avaliação de situações de seca deverá proporcionar informação representativa da severidade dos impactos expectáveis, que, de forma clara e objetiva, auxiliem a tomada de decisão.

Dos métodos analisados conclui-se, então, que: (i) a análise de índice de seca único (avaliação tradicional) apresenta notórias limitações na adaptação a diferentes regiões, dificultando a análise dos impactos reais ocorridos e, até, a comparação entre regiões e situações de seca; (ii) a avaliação por índices múltiplos representa um avanço, face à anterior, na representatividade dos impactos nas diferentes fases do ciclo hidrológico, mas a ponderação, numa avaliação única, para a classificação de severidade e adoção de medidas, apresenta, normalmente, uma forte componente subjetiva; (iii) a avaliação socioeconómica de seca, ainda pouco desenvolvida, permite uma estimativa direta dos impactos nos diferentes sectores e, até, uma ponderação objetiva dos resultados (com base na importância relativa do impacto económico), embora esteja essencialmente baseada em estimativas de primeira ordem e a sua classificação dificilmente apresente rigor estatístico.

Perante isto, embora a avaliação por índice único permita uma boa caracterização do perigo associado a uma determinada situação de seca (análise essencialmente

meteorológica), e a avaliação por índices múltiplos proporcione uma razoável base para a gestão operativa de sistemas de exploração (atendendo a boas práticas do passado), uma avaliação mais robusta e consolidada, de suporte da tomada de decisão, poderá mais facilmente ser conseguida através da avaliação socioeconómica de secas. Esta proporcionará uma maior flexibilidade na adaptação a eventuais alterações futuras (climáticas, sociais, económicas, infraestruturais, etc.), já que materializa o balanço entre disponibilidades e necessidades, e traduz, eventuais défices, em impactos económicos. Embora ainda esteja numa fase preliminar e apresente, atualmente, algumas limitações, justifica-se um maior desenvolvimento futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- Batista, S., Gomes, F., Nisa, A., Mendes, A., Maia, R., Serralheiro, R., Carvalho, M., Vivas, E., Toureiro, C., (2012). *O Sistema de Previsão e Gestão de Secas*, atas do 11º Congresso da Água, Porto, 6 a 8 de fevereiro de 2012, APRH.
- Changnon, S., Pielke, R., Changnon, D., Sylves, R., Pulwarty, R. (2000). *Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes*, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 81, nº3, pp-437-442.
- DG Env EC (2007). *Water Scarcity & Droughts - In-depth assessment, Second Interim Report*, Directorate General Environment, European Commission, Bruxelas.
- DG Env EC (2007a). *Drought Management Plan Report - Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects*, Water Scarcity and Droughts Experts Network, Directorate General Environment, European Commission, Bruxelas.
- DGA (2005). *Guía para la redacción de Planes Especiales de Sequía*, Dirección General del Agua, Ministerio de Medio Ambiente, Espanha.
- Ding, Y., Hayes, M., Wildham, M. (2010). *Measuring Economic Impacts of Drought: A review and Discussion*, Paper in Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln.
- Estrela, T., Fidalgo, A., Pérez, M. (2006). *Droughts and the European water framework directive: Implications on Spanish river basin districts*, in Andreu, J., Rossi, G., Vagliasindi, F., Vela, A. (eds), *Drought Management and Planning for Water Resources*, Taylor & Francis Group, ISBN 1 56670 672 6, pp 169-191.
- Gibbs, J., Maher, V. (1967). *Rainfall deciles as drought indicators*, Bureau of Meteorology Bulletin, No. 48, Austrália, Melbourne, 1967.
- Green, C. (2003). *Handbook of Water Economics*, ISBN 0471985716.
- Hayes, M., Svoboda, M., Lecomte, D., Redmond, K., Pasteris, P. (2005). *Drought Monitoring: New tools for the 21st Century*, in Wilhite, D. (ed.), *Drought and Water Crises - Science, Technology and Management issues*, Taylor & Francis, ISBN 084727711, pp53-69.
- Heim Jr, R. (2002). *A review of Twentieth-Century Drought Indices used in the United States*, Bulletin of the American Meteorological Society, EUA, pp. 1149-1165.
- Kraemer, R. (2007). *Economic Impact of Droughts: Challenges for Water & Environmental Policies*, Water Scarcity and Drought - a Priority of the Portuguese Presidency, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Reg., ISBN 978-989-8097-08-8.
- MAGRAMA (2014). *Homepage de Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, disponível em: <http://www.magrama.es/>.
- Maia, R., Vivas, E., Serralheiro, R., Carvalho, M., (2013). *Socioeconomic evaluation of drought effects. Main principles and application to Guadiana and Algarve case studies*, 8th International Conference of EWRA, Porto, 26 a 29 de junho.
- Mysiak, J., Markandya, A. (2010). *The economic costs of drought*, Options Méditerranéennes, A no 95.
- NDMC (2014). *The US Drought Monitor Map*, National Drought Mitigation Center, disponível em: <http://www.drought.unl.edu/>.
- NIDIS (2014). *US Drought Portal*, National Integrated Drought Information System, disponível em: <http://www.drought.gov>.
- Palmer, W. (1965). *Meteorologic Drought*, US Weather Bureau, Research Paper 45, 65pp.
- Palmer, W. (1968). *Keeping track of crop moisture conditions nationwide: the new Crop Moisture Index*, *Weatherwise*, 21, pp 156-161.
- Prieto, M. (2005). *Drought and Water Stress Situations in Spain*, in Wilhite, D. (ed.), *Drought and Water Crises - Science, Technology and Management issues*, Taylor & Francis, ISBN 0 847 2771 1, pp 3-29.
- Rouse, W., Haas, H., Schell, A., Deering, W., (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Prog.Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 93p.
- Steinemann, A., Cavalcanti, L. (2006). *Developing Multiple Indicators and Triggers for Drought Plans*, *Journal of Water Resources Planning & Management*, Vol. 132, No. 3, May.
- Steinemann, A., Hayes, M; Cavalcanti, L. (2005). *Drought Indicators and Triggers*, in Wilhite, D. (ed), *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*, CRC press - Taylor & Francis group, ISBN: 0-847-2771-1, pp.71-92.
- Svoboda, M., Lecomte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M.,



- Stooksbourn, D., Miskus, D., Stephens, S. (2002). *The Drought Monitor*, Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), pp 1181-1190.
- Travis, W., Klein, R. (2012). *Socioeconomic Impacts and Adaptation Strategies: Assessing Research on Quantification of Drought Impacts*, White Paper, Western Water Assessment.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. (2005). *Establishing a drought index incorporating evapotranspiration*, European Water, 9/10, pp 3-11.
- Valiñas, M. (2006). *Analysing rationing policies: drought and its effects on urban users' welfare*, Applied Economics, Vol. 38, nº 8, pp 955-965.
- Vicente-Serrano, S., Beguería, S., López-Moreno, J. (2010). *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, American Meteorological Society, Journal of Climate, 23, pp 1696-1718.
- Vivas, E., (2011). *Avaliação e Gestão de Situações de Seca e Escassez. Aplicação ao caso do Guadiana*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Vivas, E., Maia, R., (2013). *Use of Economic valuation methods for estimation of drought effects on urban water supply systems. Application to a Portuguese drought prone area*. 8th International Conference of EWRA, Porto, 26 a 29 de junho.
- Ward, F., Booker, J., Michelsen, A. (2006). *Integrated Economic, Hydrologic and Institutional Analysis of Policy responses to Mitigate Drought Impacts in Rio Grande Basin*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 132, N°6, pp 488-502.
- Ward, F., Young, R., Lacewell, R., King, J., Frasier, M., McGuckin, J., DuMars, C., Booker, J., Ellis, J., Srinivasan, R. (2001). *Institutional Adjustments for Coping with Prolonged and Severe Drought in the Rio Grande Basin*, Technical Completion Report No. 317, New Mexico WRRRI, Texas WRRRI, Colorado WRRRI.
- Wilhite, D. (2009). *Drought Monitoring as a Component of Drought Preparedness Planning - Chapter 1*, in Iglesias, A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D. (eds), Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems, Advances in Natural and Technological Hazards Research 26, Springer, ISBN 978-1-4020-9044-8, pp 3-19.
- Wilhite, D., Buchanan-Smith, M. (2005). *Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context*, in Wilhite, D. (ed.), Drought and Water Crises - Science, Technology and Management issues, Taylor & Francis, ISBN 0 847 2771 1, pp 3-29.
- Wilhite, D., Svoboda, M., Hayes, M. (2007). *Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness*, Water. Res. Man., 21, pp 763-774.

