



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

APLICAÇÃO DO MODELO DE THORNTHWAIT E MATHER NA AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Ana Rosária, GONÇALVES¹; Sofia, CUNHA²; Paulo Alexandre, DIOGO³

¹ Eng.ª dos Recursos Hídricos (Agência Portuguesa do Ambiente, Dir. de Recursos Hídricos, Rua da Murgueira, 9/9A Zambujal, Apartado 7585, 2610-124 AMADORA), ana.goncalves@apambiente.pt, (351) 21 472 82 00)

² Geógrafa (Agência Portuguesa do Ambiente, Dir. de Recursos Hídricos, Rua da Murgueira, 9/9A Zambujal, Apartado 7585, 2610-124 AMADORA), sofia.ribeiro@apambiente.pt, (351) 21 472 82 00)

³ Eng.º do Ambiente (Professor Auxiliar, (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 CAPARICA) pad@fct.unl.pt e (Agência Portuguesa do Ambiente, Dir. de Recursos Hídricos, paulo.diogo@apambiente.pt)

Resumo

A quantificação das disponibilidades hídricas em bacias hidrográficas representa uma tarefa essencial para o planeamento e gestão de recursos hídricos. Para o efeito estão disponíveis na literatura múltiplas metodologias, grande parte delas consubstanciadas em modelos matemáticos de complexidade diversa, cuja escolha deverá ter em conta não só os objectivos a atingir mas também a necessidade e disponibilidade de dados de entrada. No estudo apresentado procedeu-se à implementação do modelo de Thornthwait e Mather ao território de Portugal continental, tendo como objectivo avaliar a disponibilidade hídrica actual e futura, face a cenários de alterações climáticas. A calibração do modelo foi realizada para 97 bacias drenantes nacionais, escolhidas em função da localização de estações hidrométricas e para as quais o escoamento se pode considerar como em regime natural bem como do número de anos em se dispõe simultaneamente de dados de escoamento e dados de precipitação. A calibração assentou na optimização estatística de três parâmetros do modelo através da avaliação dos coeficientes de eficiência de Nash Sutcliffe e de correlação de Pearson na comparação de séries simuladas e observadas. A implementação a Portugal continental foi realizada a partir da interpolação espacial dos parâmetros do modelo obtidos para as bacias de calibração. Os cenários de alterações climáticas foram simulados aplicando as anomalias de temperatura e precipitação das normais climatológicas, obtidas por comparação de simulações de clima para os períodos de 30 anos entre 1971 e 2000, 2011 e 2014, 2041 e 2070 e 2071 e 2100, ao cenário climático de referência (normais climatológicas observadas no período 1970-2000).

Palavras-chave: Thornthwaite e Mather, balanço hídrico, Portugal continental, alterações climáticas, disponibilidades hídricas.

Tema: gestão de recursos hídricos e bacias hidrográficas; alterações climáticas e adaptação.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições hidrológicas de uma região é necessária para que se possam estabelecer estratégias adequadas à gestão dos seus recursos naturais. Neste contexto, a determinação das disponibilidades hídricas em bacias hidrográficas reveste-se de carácter estruturante para a implementação integrada de políticas públicas multidisciplinares, nomeadamente enquanto ferramenta para o eficaz planeamento e gestão de recursos hídricos. Este princípio é evidenciado quando o contexto desta quantificação abrange igualmente cenários de possíveis comportamentos antropogénicos futuros (Sokolov e Champan, 1974), tarefa essencial para a identificação de estratégias a adotar em múltiplos sectores assim como no planeamento e gestão de recursos hídricos em Portugal.

Um modelo de transformação de precipitação em escoamento é um método que permite reproduzir as componentes essenciais do ciclo hidrológico através de sistemas de equações que relacionam as variações de volume ocorridas num determinado tempo e espaço, (Lencastre, 2003), nomeadamente a quantificação das disponibilidades hídricas associadas a uma determinada secção de referência (McCabe e Markstrom, 2007). A escolha do modelo a implementar resulta da combinação entre os objetivos a atingir e a necessidade de dados de entrada e assim também a disponibilidade de informação (Durga-Rao, 2014).

O modelo de Thornthwaite e Mather é uma das abordagens frequentemente utilizadas para a quantificação do balanço hídrico sequencial mensal em bacias hidrográficas (Hipólito e Vaz, 2013, Lencastre, 2003). Este tem como grandes vantagens o reduzido número de parâmetros de entrada necessários e a boa capacidade de reproduzir o balanço hídrico mensal, minimizando problemas associados à disponibilidade de dados, principalmente em áreas pouco monitorizadas ou com falhas de dados, sendo também possível determinar cada componente do ciclo hidrológico de modo individualizado. A simplicidade e bons resultados reportados com esta metodologia sugerem a sua adequação a áreas de estudo de grande dimensão e para as quais é mais complexa a caracterização de muitas das variáveis hidrológicas necessárias para a implementação de modelos de balanço hídrico de maior complexidade muitas das quais requereriam medições diretas (Sokolov and Champan, 1974; Durga-Rao, 2014). O modelo de Thornthwaite e Mather é amplamente aplicado na resolução de problemas hidrológicos, tendo também sido utilizado como uma ferramenta de previsões de escoamentos a longo prazo (Xu e Singh, 1998).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade hídrica atual e futura, face a diferentes cenários de alterações climáticas, por meio da determinação do balanço hídrico sequencial mensal de Thornthwaite e Mather para Portugal continental. O estudo em curso visa a quantificação das disponibilidades hídricas em regime natural e deverá permitir dar resposta a múltiplas matérias relacionadas com o planeamento e gestão de recursos hídricos em Portugal. De entre os objetivos estabelecidos é de salientar a avaliação de impactes de alterações climáticas na disponibilidade hídrica, tarefa essencial para a identificação de estratégias a adotar nos múltiplos sectores de alguma forma relacionados com os recursos hídricos nacionais.

2. METODOLOGIA

A. MODELO DE THORNTHWAIT E MATHER

O modelo de Thornthwaite e Mather é um modelo de balanço hidrológico sequencial mensal que permite quantificar a alocação de água aos vários componentes do sistema hidrológico. Assente na metodologia originalmente apresentada por Thornthwaite em 1948, a qual sofreu múltiplas modificações como por exemplo por Thornthwaite e Mather, em 1955 (Xu e Singh 1998), este modelo conceptual permite determinar o balanço hidrológico através da diferença entre a precipitação e a quantidade de água necessária para a evaporação e transpiração e a água retida e detida no solo tal como identificado em Sokolov e Champan (1974). A versão do modelo de Thornthwaite e Mather apresentado por Hipólito e Vaz (2013) e esquematizado na Fig. 1, tem como variáveis de entrada valores de precipitação (P) e de evapotranspiração potencial, sendo que esta última servirá de base para determinação da evapotranspiração real (ET).

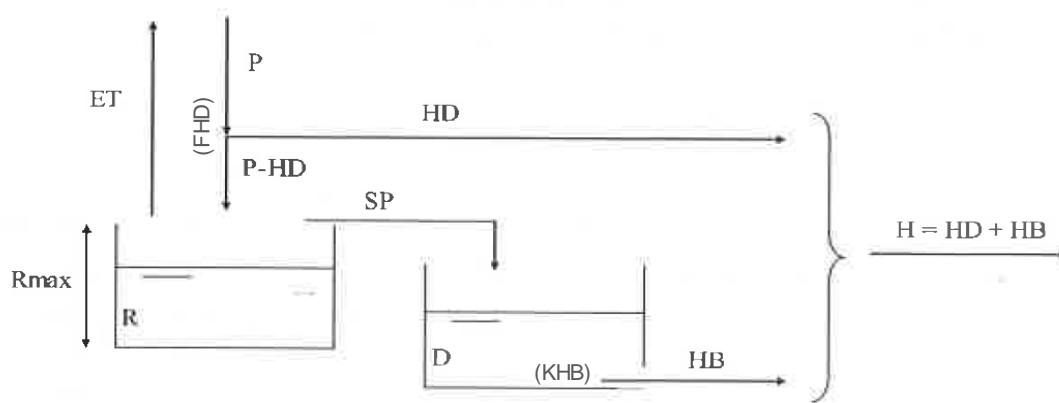


Figura 1. Representação do modelo de Thornthwaite e Mather (*adaptado de Hipólito e Vaz, 2013*)

O modelo simula a retenção de água em dois reservatórios sendo possível determinar para o mesmo ciclo temporal a água retida no solo entre a capacidade de campo e o ponto de emurchecimento permanente (R) assim como a detenção para o escoamento (D). Estas duas variáveis de estado são reguladas por três parâmetros: coeficiente de escoamento direto (FHD), armazenamento máximo na camada superficial do solo (Rmax) e coeficiente de detenção de escoamento de base (FHB). A componente de percolação de água no solo (SP) é dependente da precipitação que se infiltra (P-HD) e apenas existe depois de suprida a capacidade máxima de armazenamento de água à superfície e no solo (Rmax). O escoamento total é obtido pela soma dos escoamentos direto (HD) e de base (HB). Todo o modelo funciona uniformemente em alturas de água medida em milímetros.

As condições iniciais do modelo são determinadas pela retenção inicial (R0) e pela detenção inicial (D0). Para efeitos do estudo em desenvolvimento e de modo a eliminar a influência de valores arbitrários para estes dois parâmetros, os mesmos foram calculados por simulação de um período consecutivo de 12 meses, assumindo-se valores nulos no início da simulação (mês de outubro).

Para o cálculo da evapotranspiração potencial mensal optou-se pelo método de Thornthwaite, aplicado segundo Lencastre (2003), a partir de dados da temperatura do ar correspondente a cada cenário de simulação.

B. CALIBRAÇÃO

A calibração dos parâmetros de um modelo é determinante para o desempenho deste e representa por isso um passo importante na utilização deste tipo de ferramentas. Uma calibração quantitativa utiliza métodos estatísticos de minimização da discrepância dos erros entre os resultados de escoamento simulado e observado (Hipólito e Vaz, 2013).

No presente estudo, para o ajuste dos três parâmetros do modelo de Thornthwaite e Mather (FHD, R_{max} e KHB) efetuou-se uma calibração quantitativa em que se procedeu à otimização de coeficientes de avaliação de ajustamento de séries de valores, no caso valores de escoamento observados e simulados. Para o efeito recorreu-se à otimização dos resultados de simulação utilizando como critério a maximização do coeficiente de Nash Stuciliffe (NSE), considerado como um dos melhores testes para comparar valores de escoamento simulados com valores observados (Durga-Rao, 2014), assim como do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Enquanto o NSE é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual em comparação com a variação dos dados observados e admite como aceitáveis valores entre 0 e 1, onde 1 é o valor ótimo (Nash e Stuciliffe, 1970 em Moriasi *et al.*, 2007; Krause, 2005); o segundo define o grau de relação entre os dados simulados e observados onde 1 e -1 são extremos que demonstram, respectivamente, relações lineares positivas e negativas (Krause, 2005).

Para efeitos de calibração, o modelo de Thornthwaite e Mather foi aplicado a uma seleção de bacias drenantes de estações hidrométricas. As estações selecionadas permitem uma representatividade territorial significativa e a sua escolha obedece aos seguintes critérios: existência de dados simultâneos de precipitação e escoamento mensal para um período mínimo de 9 anos, em bacias drenantes consideradas como não regularizadas. Para o cálculo da evapotranspiração foram consideradas as temperaturas médias mensais para o período de referência 1960-1990 com base nas 23 estações climatológicas do boletim de temperatura do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), após a confirmação de que se observa uma reduzida diferença nos resultados caso fossem utilizadas temperaturas mensais médias (séries mensais contínuas). As séries de precipitação mensal ponderada foram obtidas a partir de 42 estações meteorológicas ou udométricas, com dados também disponíveis através do SNIRH. Tanto as normais de temperatura 1960-1990 como as séries de precipitação foram consideradas representativas para cada uma das bacias em estudo após ponderação das áreas de influência avaliadas de acordo com o método de Thiessen.

Da execução da aplicação do modelo às bacias de calibração resultou uma aceitação com bom desempenho do modelo aquelas cujos valores dos índices de NSE superiores ou iguais a 0,5 e, cumulativamente, valores de r superiores ou iguais a 0,7.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

C. VALIDAÇÃO

Apesar do bom ajustamento obtido na fase de calibração, a metodologia de interpolação espacial dos 3 parâmetros calibrados requer também uma avaliação. De facto, uma vez que a determinação dos referidos parâmetros resultou de uma avaliação estatística e não de um processo em que tenham sido observadas as características físicas de cada bacia drenante, considera-se necessária a avaliação do grau de ajustamento conseguido pela aplicação desses parâmetros com base numa interpolação espacial. Pretende-se deste modo testar a adequabilidade dos parâmetros interpolados espacialmente e assim a fiabilidade do processo de parametrização de bacias drenantes não calibradas.

Para o efeito foi efetuada uma seleção aleatória de cerca de um quarto das estações hidrométricas de calibração. Os valores dos três parâmetros resultantes da calibração do modelo para as estações não incluídas nesta seleção foram interpolados espacialmente de modo a serem determinados os valores a considerar no cálculo do balanço hidrológico das estações de validação. A interpolação foi realizada em sistema de informação geográfica (SIG) pelo método IDW – *Inverse Distance Weighted*. Este processo foi repetido com nova seleção de bacias de validação. A comparação de resultados decorrentes da calibração e da validação permitiu avaliar a consistência e a validade da interpolação dos valores de calibração ao restante território. Uma vez comprovado o bom desempenho do modelo, foi elaborada cartografia corresponde à distribuição espacial dos três parâmetros de calibração do modelo correspondente a todas as estações cujos resultados de calibração mostraram bom desempenho.

3. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

A. CENÁRIOS DE REFERÊNCIA

Como elementos de entrada no modelo (e inerente cálculo da evapotranspiração potencial), correspondentes às condições de referência, foram utilizados os dados da normal climatológica para o período de referência 1971/2000, nomeadamente valores mensais de temperatura média e de precipitação para Portugal continental disponíveis no Portal do Clima (IPMA, 2017).

A escala espacial de aplicação do modelo teve como unidade territorial a bacia própria de drenagem de massa de água (modelo agregado) com delineação segundo os Planos de Gestão de Região Hidrográfica. Desta forma o modelo sequencial de Thornthwaite e Mather foi aplicado às 1 806 bacias, em todo o território nacional.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

B. CENÁRIOS FUTUROS

Para determinação dos escoamentos associados a cenários climáticos futuros e para cada bacia de drenagem de massa de água, os dados de entrada do modelo de Thornthwaite e Mather (e cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite), precipitação e temperatura, relativos ao período de referência, são afetados pela anomalia das normais climatológicas, esta determinada por comparação entre cenários de simulação climática para o período de referência e para os três intervalos de 30 anos considerados: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Como cenários climáticos foram considerados os *Representative Carbon Pathways* – RCP 4.5 e RCP 8.5. O primeiro, retrata um cenário menos gravoso e reproduz um comportamento mais brando com um aumento gradual da libertação de dióxido de carbono até meio do século, seguido de estabilização até 2100; o segundo cenário, mais gravoso, representa um aumento acentuado da libertação deste gás até ao fim do século (IPCC, 2013).

Os cenários climáticos considerados foram obtidos através do Portal do Clima, tendo sido nesta fase adoptados os conjuntos de dados referentes ao designado *ensembles* no mesmo portal. Nos dados recolhidos verifica-se uma tendência de variação do clima em relação ao que é observado, pelo que foram determinadas as correções às anomalias da temperatura e da precipitação dos valores projetados para cada par cenário/período face ao cenário simulado para o período de referência (1971-2000). A anomalia da temperatura foi determinada por um fator de variação aditiva, tipicamente utilizada para a temperatura e considerada como uma boa estimativa da alteração absoluta (Anandhi *et al.* 2011). Os valores da anomalia da precipitação foram calculados por um fator de variação multiplicativo, normalmente utilizada para a precipitação e considerada como um estimador razoável para a variação relativa (Anandhi *et al.* 2011). A constituição das novas normais climáticas corrigidas de precipitação e temperatura para cada cenário e período de 30 anos têm por base, respetivamente, a adição e a multiplicação da anomalia calculada com os dados observados para o período de referência (1971-2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CALIBRAÇÃO

Do universo das estações hidrométricas disponíveis no SNIRH e tendo em conta os critérios de elegibilidade para as bacias de calibração descritos na metodologia deste trabalho foram selecionadas 121 estações. As bacias de drenagem resultantes desta seleção foram utilizadas como bacias de calibração. Por aplicação do método de Thornthwaite e Matter foram aceites com bom desempenho 80 % das bacias de calibração (97 estações). A distribuição espacial dos parâmetros de calibração do modelo, obtida através do método IDW, é apresentada na Fig. 2.

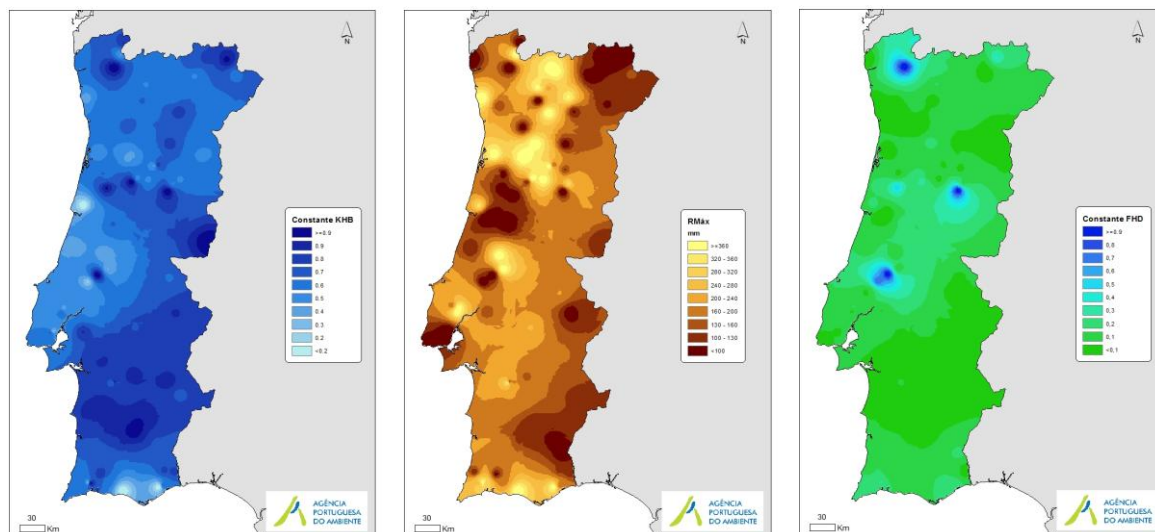


Figura 2. Distribuição dos três parâmetros de calibração do modelo de Thornthwaite e Matter: KHB, Rmax e FHD.

B. VALIDAÇÃO

De entre as 97 bacias drenantes de calibração foram aleatoriamente escolhidas cerca de 26% para se efetuar a validação do modelo e em particular do método de distribuição espacial dos parâmetros de calibração. O modelo foi então novamente aplicado a esse sub-conjunto de bacias tendo sido utilizados os valores interpolados dos parâmetros de calibração obtidos com base nas restantes 72 estações.

A otimização dos parâmetros de calibração do modelo permitiu a uma boa reprodução dos escoamentos mensais na maioria das bacias hidrográficas de validação analisadas (cerca de 84% segundo o mesmo critério de bom desempenho utilizado na calibração com os dois índices indicados) como se exemplifica na Fig. 3, no caso os resultados obtidos para a estação de Moinho do Bravo após calibração e na validação.

Este processo de validação foi repetido uma segunda vez, mediante nova escolha de estações de validação, tendo sido obtido o mesmo resultado relativo (84%). Considera-se, por isso, que o modelo global adotado, Thornthwaite-Matter e distribuição espacial dos parâmetros calibrados, permite uma boa estimativa do escoamento natural nas bacias estudadas.

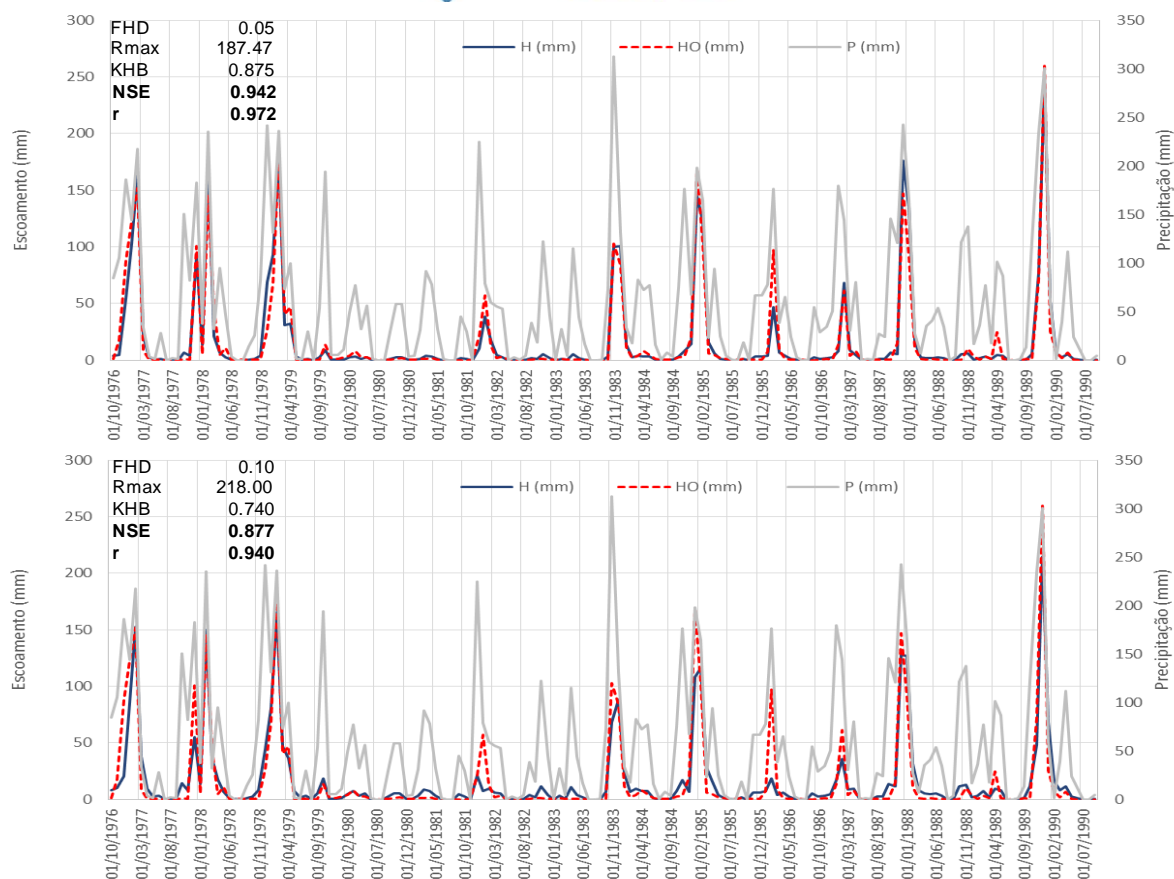


Figura 3. Variação do escoamento observado (H em mm) e simulado (HO em mm) e da precipitação observada (P, em mm) na estação de calibração Moinho do Bravo (código SNIRH 25G/02H).

Resultados da calibração em cima e resultados da validação em baixo. No canto superior esquerdo estão indicados os valores de FHD, Rmax e KHB, assim como os do NSE e r.

C. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS ATUAIS E FUTURAS

Os resultados obtidos na calibração do modelo de Thornthwaite-Matter apontam para que este se adequa ao estudo e quantificação do escoamento superficial nas bacias drenantes consideradas. Para que o mesmo modelo seja aplicado a todo o território continental é necessário ter alguma confiança na parametrização adotada (Rmax, FHD e KHB) no caso das bacias em que a calibração não pode ser realizada. Face aos resultados obtidos no procedimento de validação, admite-se que a interpolação espacial dos parâmetros de modelação permite uma boa aproximação dos valores de escoamento num conjunto muito significativo de bacias drenantes.

A aplicação da metodologia adotada no presente estudo permite assim calcular as alturas de escoamento nas já referidas 1 806 bacias drenantes de massa de água, permitindo assim também determinar o escoamento em cada uma das respetivas secções de referência, admitindo escoamento em regime natural, para o período de referência (Fig. 4) e cenários climáticos, cujas variações percentuais de escoamento são apresentados na Fig. 5 para as principais bacias hidrográficas.

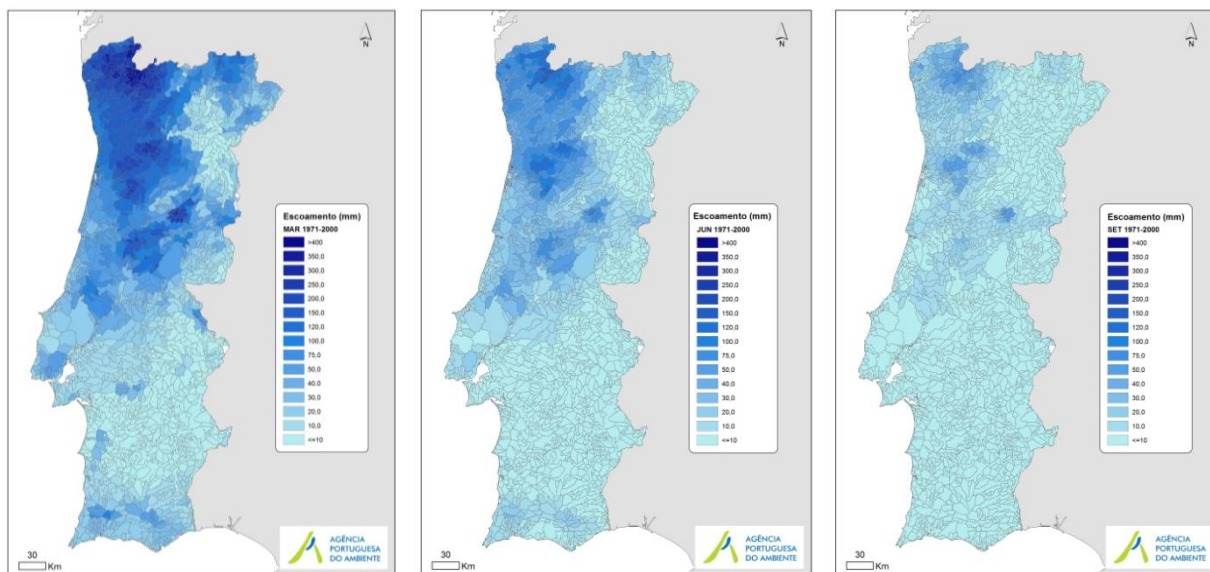


Figura 4. Escoamento simulado (mm) para o período de referência 1971-2000, nos meses de março, junho e setembro (da esquerda para a direita).

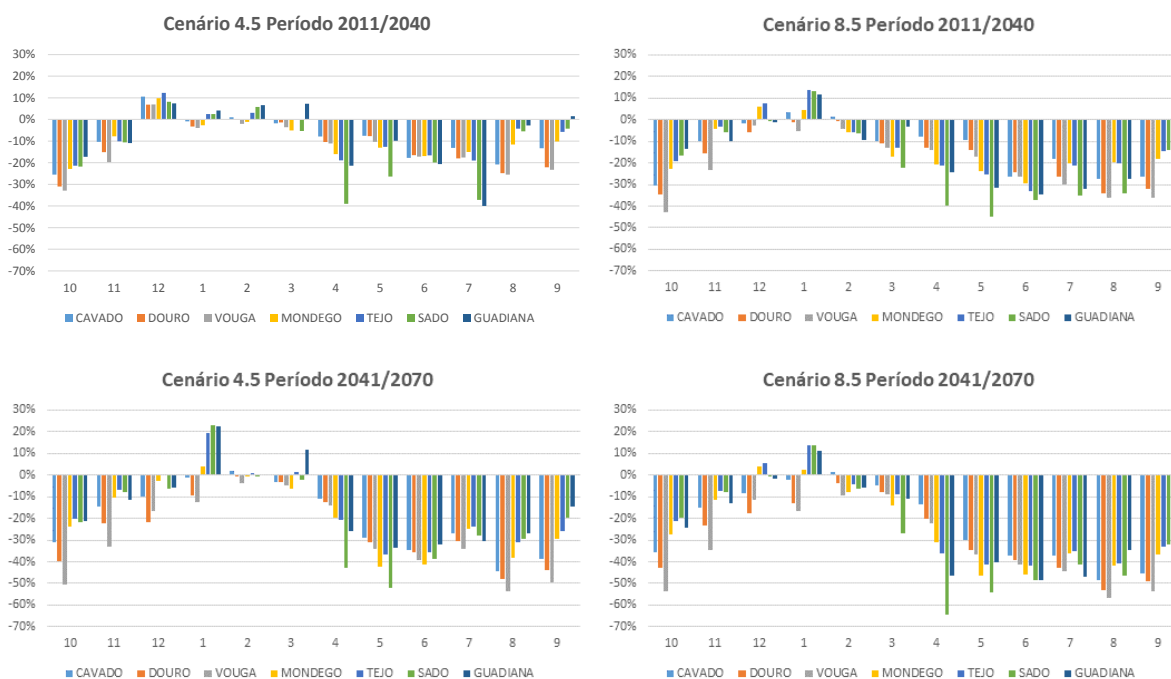


Figura 5. Variações percentuais de escoamento nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, nas principais bacias hidrográficas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No estudo apresentado procedeu-se à aplicação do modelo de Thornthwaite e Matter ao território nacional com vista à determinação das disponibilidades hídricas em Portugal continental, pressupondo o regime de escoamento natural e para o período atual e diferentes cenários climáticos. A metodologia incluí unicamente escoamentos gerados em território nacional.

A metodologia implementada para o cálculo de escoamentos superficiais permitiu uma boa aproximação aos valores observados em 97 de entre 121 bacias drenantes, de acordo com o procedimento de calibração desenvolvido. A generalização da implementação deste modelo a todo o território continental apresenta, no entanto, como principal dificuldade a forma como os três parâmetros que determinam o comportamento do modelo, FHD, KHB e Rmax, são determinados nas bacias para as quais não é possível o procedimento de calibração. Para ultrapassar este problema, na ausência de critérios físicos que permitissem relacionar cada um dos parâmetros com as características de cada bacia drenante, adoptou-se a interpolação espacial dos valores obtidos a partir do processo de calibração. Este procedimento foi também avaliado tendo-se concluído que permitia bons resultados em cerca de 84% de dois conjuntos de 25 bacias drenantes.

Porém, e sendo o processo de calibração assente quase que unicamente em análise estatística e não ter sido aferido a relação dos parâmetros de calibração com as características hidrológicas do território representa uma limitação que, apesar de se admitir que os resultados são satisfatórios, deverá ser objeto de análise futura e assim abordado nos desenvolvimentos do estudo que se considera ainda em curso.

Outra limitação observada ao longo do trabalho prende-se com a disponibilidade e densidade de dados de precipitação uma vez que o modelo apresenta uma elevada sensibilidade a este parâmetro (verificou-se por meio de ensaios paralelos que redes de monitorização com diferentes densidades de estações meteorológicas originaram diferenças em alguns casos importantes).

No que se refere à caracterização dos cenários climáticos futuros, será ainda importante avaliar de que forma a escolha de diferentes conjuntos de resultados de simulação climática podem determinar resultados de disponibilidade hídrica futura diferentes. Esta resposta não será, no entanto, nunca definitiva tendo em conta a evolução constante que se observa na qualidade e detalhe da modelação climática assim como a incerteza inerente a este processo.

Por último há ainda que incluir no processo de simulação o estudo de regimes regularizados. Este processo representa um desafio muito significativo tendo em conta a dificuldade inerente à caracterização de consumos de água e principalmente da operação de aproveitamentos hidroelétricos.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anandhi, A., Frei A., Pierson D. C., Schneiderman E. M., Zion M. S., Lounsbury D., e Matonse A. H. (2011). Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment, *Water Resour. Res.*, 47, W03501.

Durga-Rao K. H. V., Rao V. V., Dadhwal V.K. (2014). Improvement to the Thornthwaite method to study the runoff at a basin scale using temporal remote sensing data. *Water Resour Manag.* 28,1567–1578.

Hipólito, J.R. e Vaz, A. C. (2011). Modelos de transformação da precipitação em escoamento. In *Hidrologia e Recursos Hídricos*. 2.^a edição. IST Press, Lisboa.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2014). Portal do Clima, Alterações Climáticas em Portugal. <http://portaldoclima.pt/pt/> (acedido a 1 de outubro de 2017).

Krause, P., Boyle, D.P., Bäse, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Adv. Geosci.* 5, 89-97.

Lencastre, A. & Franco, F. M. (2003). *Balanços Hídricos*. In *Lições de Hidrologia*. 3.^a edição Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

McCabe, G. J., e Markstrom, S. L. (2007). A monthly waterbalance model driven by a graphical user interface. US Geological Survey Open-File report.

Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50 (3), pp. 885-900.

Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. (1957). Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Publ. in *Climatology*, vol.10, no.3, p. 185-311.

Sokolov AA, Champan TG (1974) *Methods for water balance computations—an international guide for research and practice*. The Unesco Press, Paris.