



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS ANUAIS, SAZONAIS E MENSAIS EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS TRANSFRONTEIRIÇAS

Manuela, SARAMAGO¹, Paula, MACHADO²

¹ Manuela Saramago (Doutora, Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa, maria.saramago@apambiente.pt, 214728200)

² Paula Machado (Engenheira, Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa, paula.machado@apambiente.pt, 214728200)

Resumo

A ocorrência cada vez mais frequente de fenómenos de secas no território nacional, por vezes com extensão ao território espanhol, constitui uma preocupação crescente sobre as disponibilidades hídricas nas bacias transfronteiriças. Sendo a precipitação o elemento principal do ciclo hidrológico, a sua intensidade, duração e a quantidade condicionam fortemente o escoamento. A “Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-espanholas” estabelece um regime de caudais mínimos nas bacias transfronteiriças – Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana – com diferentes escalas temporais: semanais, trimestrais e anuais. Simultaneamente estão previstas exceções a este regime de caudais sempre que a precipitação de referência se situa abaixo de limites estabelecidos na convenção.

A análise efetuada neste trabalho permitiu verificar que a precipitação anual tem tido um decréscimo generalizado desde 2001, sendo este decréscimo mais acentuado nas bacias a sul do rio Tejo. Foi realizada uma seleção das estações da rede meteorológica do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) com dados de precipitação entre 1900 a 2017, tendo-se procedido à validação e suplementação das séries de dados. Recorreu-se aos polígonos de Thiessen para o cálculo da precipitação ponderada nas bacias hidrográficas em estudo. A verificação de eventuais tendências nas séries de precipitação anual, sazonal e mensal, e a sua significância foi efetuada recorrendo aos testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall.

Palavras-chave: Tendência, Precipitação, Bacias Transfronteiriças, teste Mann-Kendall, SNIRH

Tema: Gestão de Recursos Hídricos e bacias hidrográficas



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

A “Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-espanholas”, de ora em diante designada como Convenção, estabelece, no que respeita aos caudais, “...um regime de caudais necessários para garantir o bom estado das massas de águas.” A determinação deste regime assenta, entre outros critérios, nas características “a) características geográficas, hidrológicas, climáticas e outras características naturais de cada bacia hidrográfica,” (Convenção de Albufeira).

O regime de caudais definido para cada bacia transfronteiriça e para os períodos de tempo estabelecidos, não se aplica sempre que se verifiquem situações em que a precipitação de referência se situa abaixo de limiares relativos à precipitação média histórica. Estes limiares estão estabelecidos no Protocolo de Revisão de 2008. A precipitação média é atualizada a cada 5 anos, considerando o ano hidrológico de 1944/45 como início; a última atualização foi no final do ano hidrológico de 2016/17.

Na última década tem-se verificado uma acentuada redução da precipitação em Portugal Continental, com maior incidência nas bacias hidrográficas a sul do rio Tejo. Nos dois últimos anos hidrológicos 2015/16 e 2016/17 observaram-se valores de precipitação anual abaixo da média, sendo que o último ano hidrológico foi extremamente seco (IPMA). Nestes anos hidrológicos a precipitação em Espanha foi igualmente fraca, o que conduziu a uma redução significativa dos caudais nas bacias transfronteiriças.

2. ANÁLISE DE DADOS

As redes de monitorização hidrometeorológicas da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA, I.P.) constituem uma fonte de informação sobre recursos hídricos de elevada importância e com um longo registo de dados. A base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) disponibiliza diversos parâmetros hidrométricos e meteorológicos agregados - diários, mensais e anuais - foi neste repositório de dados que foram selecionadas as estações a estudar em cada bacia. Estabeleceram-se os seguintes critérios para a escolha inicial das estações:

1. Séries de precipitação mensal longas (mais de 30 anos);
2. Com dados até ao ano hidrológico de 2016/17;
3. Classificação de qualidade no SNIRH acima de 13 (>12 – série anual com grande fiabilidade).

Sobre este conjunto de estações foi efetuada uma análise preliminar dos dados para correção de erros nos registos (por ex. carregamento incorreto de valores históricos), identificação de falhas nas séries mensais, respetiva suplementação, quando possível, recorrendo à determinação de regressões lineares simples entre estações próximas. O



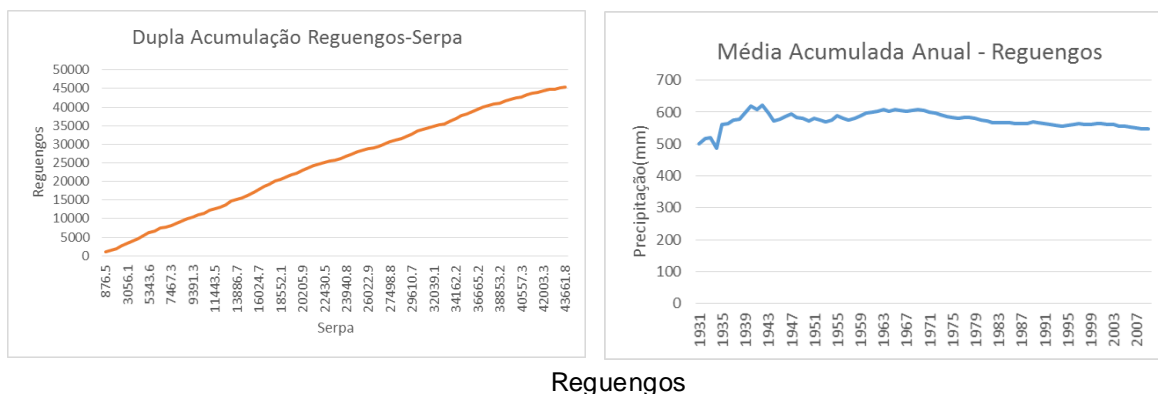
7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

número de falhas admissíveis foi inferior a 5% e não poderiam corresponder a um ano hidrológico completo.

Estudar a existência de tendências em séries de dados de precipitação exige a verificação da homogeneidade das séries, ou seja, garantir que as variações existentes nas séries refletem apenas possíveis variações climatológicas. Variações por alterações de local, de equipamento de medição, de observador ou mesmo erros de leitura ou de cálculos podem enviesar a análise de tendências. Numa análise simplificada dos dados recorreu-se a ensaios de dupla-acumulação para detetar eventuais quebras na série de dados. Esta análise foi ainda complementada com a consulta do arquivo histórico do SNIRH, para aceder aos metadados das estações selecionadas. Os documentos históricos possuem informação sobre mudanças de equipamentos de medição, de observador, de localização entre outras possíveis fontes de variação. Na Figura 1 apresentam-se dois exemplos de gráficos - dupla-acumulação e de média acumulada anual. O gráfico de dupla-acumulação não indica eventuais quebras na série de dados. No entanto a média acumulada da estação de Reguengos aponta para eventuais quebras na série de dados. Esta suspeitas foram verificadas com testes estatísticos de homogeneidade.

Figura 1. Gráfico de dupla-acumulação entre Reguengos e Serpa e média acumulada anual em



A verificação da homogeneidade absoluta da série foi realizada recorrendo à aplicação dos testes de Short Normal Homogeneity (SNH), Pettitt, Buishand e von Neuman para todas as séries. As séries foram consideradas homogêneas sempre que pelo menos 2 dos testes realizados não rejeitavam a hipótese de série homogênea (WMO)

Apenas as séries das estações onde a homogeneidade se confirmou foram selecionadas para a análise de tendência, um total de 22 estações (Figura 2). Foram excluídas 3 estações meteorológicas – duas na bacia do Guadiana (Portel e Reguengos) e uma na bacia do Tejo (Machuqueira do Grou), as quais falharam todos os testes de homogeneidade.

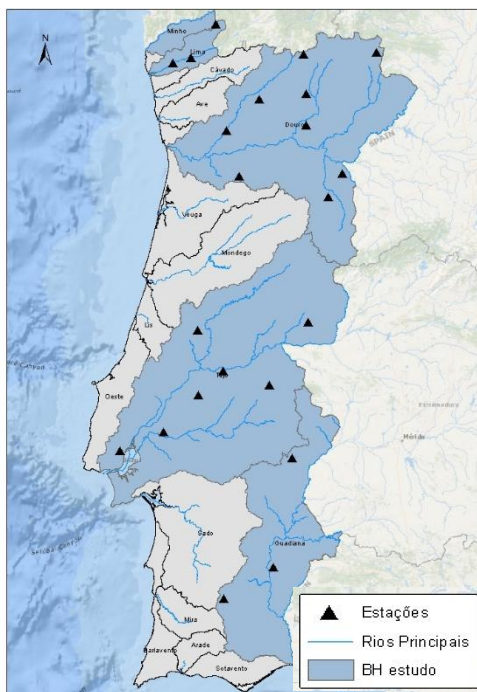


Figura 2. Bacias e estações meteorológicas em estudo

Os períodos em estudo são diferentes para cada bacia, Tabela 1, resultante dos testes de homogeneidade, mantendo sempre o critério de séries com mais de 30 anos de dados.

Tabela 1. Período de dados analisado por bacia hidrográfica

Bacias	Período Analisado	Nº de anos
Minho/Lima	1960-2017	57
Douro	1947-2017	70
Tejo	1950-2017	67
Guadiana	1931-2017	86

3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA

A distribuição espacial da precipitação anual média nas bacias do Lima/Minho e Douro apresenta-se nos mapas da Figura 3. Salienta-se que no Douro Internacional, rio Corgo, rio Sabor e Tua é onde se registam os valores mais baixos de precipitação. Nas bacias do Minho e Lima regista-se a maior precipitação média anual.

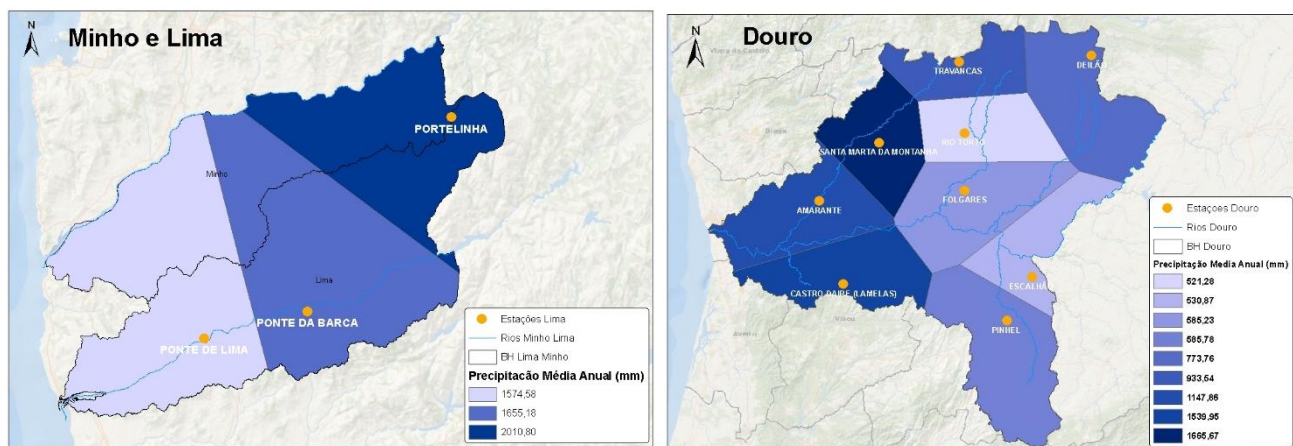


Figura 3. Precipitação anual média ponderada nas bacias do Minho/Lima e Douro

A distribuição espacial da precipitação anual média nas bacias do Tejo e Guadiana é apresentada nos mapas da Figura 4. Importa salientar que o médio Tejo e o alto Guadiana são as regiões onde se registam maiores valores de precipitação.

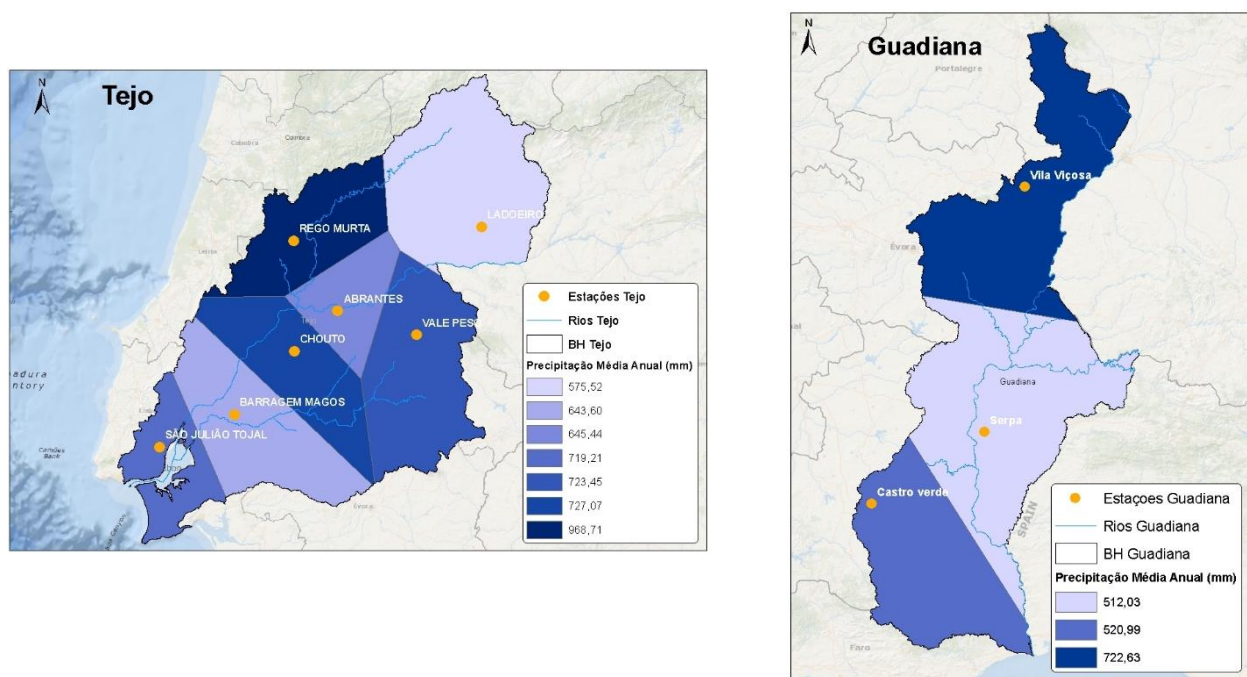


Figura 4. Precipitação anual média ponderada nas bacias do Tejo e Guadiana

Na análise de tendência foi utilizado o teste de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1975) [3], que é um teste robusto, não-paramétrico amplamente utilizado para determinar se existe tendência numa série de dados que seja estatisticamente significativa. Este teste apresenta ainda a vantagem de ser pouco sensível à não homogeneidade das séries (Zhang, 2009).

A estatística S do teste de Mann-Kendall, para uma série de dimensão n é calculada pelas equações (1) e (2).



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

onde X_j são valores consecutivos da série de dados e n a dimensão da série, onde a função $\text{sgn}()$ é definida pela seguinte expressão

$$\text{sgn}(d) = \begin{cases} -1 & d < 0 \\ 0 & d = 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Quando a dimensão da série é superior a 8 (Mann 1945, Kendall 1975) a estatística S segue aproximadamente uma distribuição Normal, a qual possui valor médio $E(S)=0$ e variância, definida pela equação (3).

$$\text{var}(S) = 1/18[n(n-1)(2n+5)] \quad (3)$$

A significância de S para a hipótese de “não há tendência” foi testada considerando um teste bilateral, com nível de significância de $\alpha=0.05$.

O estimador da estatística de Mann-Kendall não determina a magnitude das tendências, sendo complementado com o estimador de declive de Sen (1968).

3.1. Tendências mensais

Os resultados do teste estatístico foram assinalados nas tabelas abaixo com seta \searrow (decréscimo) ou \nearrow (acrécimo) sempre que se verificou a existência de tendência na série.

Os meses de Dezembro e Janeiro são os mais chuvosos, nas bacias em estudo. Na bacia hidrográfica do rio Douro verifica-se uma grande variação na precipitação mensal média para as nove estações em estudo, Figura 5, estas diferenças podem atingir 200 mm.

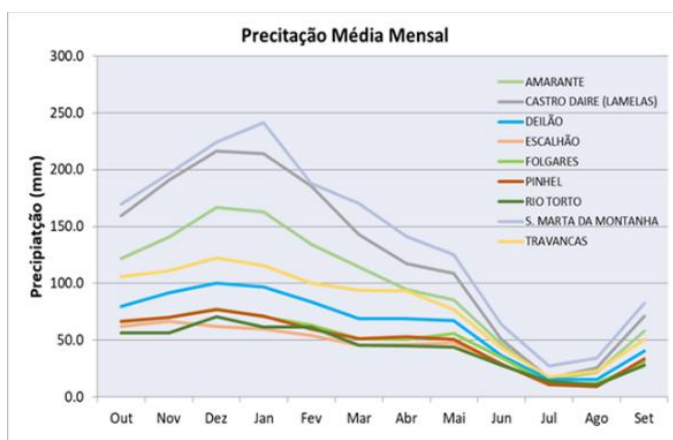


Figura 5. Variação da precipitação mensal média na Bacia do Douro

A aplicação do teste de Mann-Kendall mostra que o mês de Março é o que apresenta, para todas as estações analisadas, uma tendência para decréscimo da precipitação (Figura 6). Nos meses mais chuvosos, não se observou uma tendência significativa para decréscimo da precipitação. Salienta-se ainda tendência negativa em todas as estações no mês de Junho.

Douro												
Estação	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Amarante						↘			↘			
Castro Daire				↘	↘	↘		↘	↘			
Deilão		↘				↘			↘			
Escalhão						↘			↘			
Folgares						↘			↘			
Pinhel						↘			↘			
Rio Torto					↘	↘			↘			
Santa Marta da Montanha						↘			↘			
Travancas			↘	↘	↘	↘		↘	↘			↘

Figura 6. Tendência na Bacia do Douro

Nas bacias hidrográficas do Minho/Lima verifica-se que não há grande variação na precipitação média mensal para as três estações em estudo (Figura 7), no entanto a estação de Portelinha apresenta valores de precipitação muito elevados.

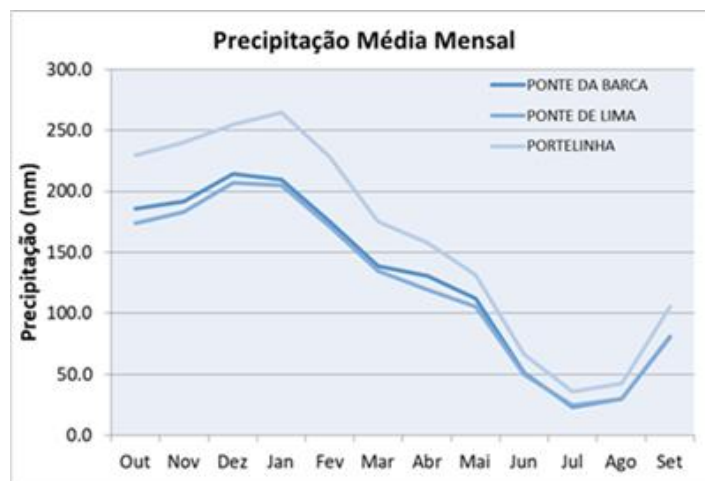


Figura 7. Variação da precipitação mensal média na Bacia do Minho/Lima

Verifica-se que os meses de Janeiro, Fevereiro e Março são os que apresentam, para todas as estações analisadas, uma tendência para decréscimo da precipitação. Observa-se assim uma diminuição da precipitação no Inverno, Figura 8.

Lima												
Estações	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Ponte da Barca				↘	↘							↘
Ponte de Lima			↘	↘	↘	↘			↘			↘
Portelinha				↘	↘	↘						

Figura 8. Tendências nas Bacias do Minho/Lima

Na bacia hidrográfica do rio Tejo verifica-se alguma variação na precipitação mensal média entre as sete estações em estudo, Figura 9. Estas diferenças podem atingir os 90 mm.

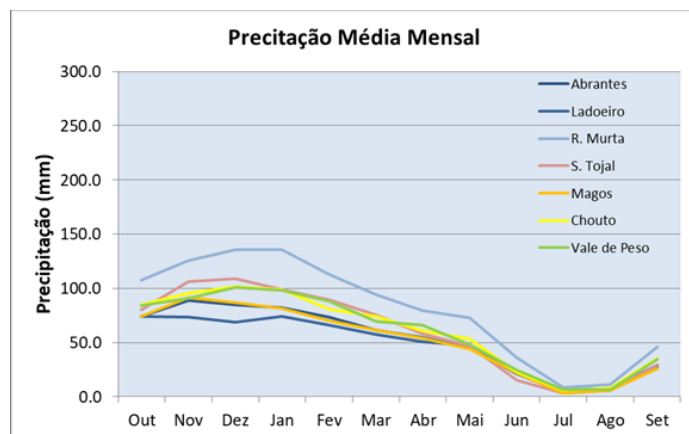


Figura 9. Variação da precipitação mensal média na Bacia do Tejo

Verifica-se que os meses de Janeiro a Março são os que apresentam para todas as estações analisadas uma tendência para decréscimo da precipitação. Salienta-se ainda tendência negativa no período do Inverno, Figura 10.

Tejo												
Estação	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Abrantes		↘		↘	↘	↘			↘	↘		
Ladoeiro				↘	↘	↘			↘			
Rego da Murta		↘		↘	↘	↘						
São Julião do Tojal						↘				↘		
Barragem de Magos				↘	↘	↘						
Chouto			↘	↘	↘	↘			↘			
Vale de Peso				↘		↘			↘			↘

Figura 10. Teste de Mann-Kendall para a bacia do Tejo

Na bacia hidrográfica do rio Guadiana verifica-se se alguma variação na precipitação mensal média entre as três estações em estudo, Figura 11. A precipitação mensal média é muito mais baixa que nas restantes bacias analisadas.

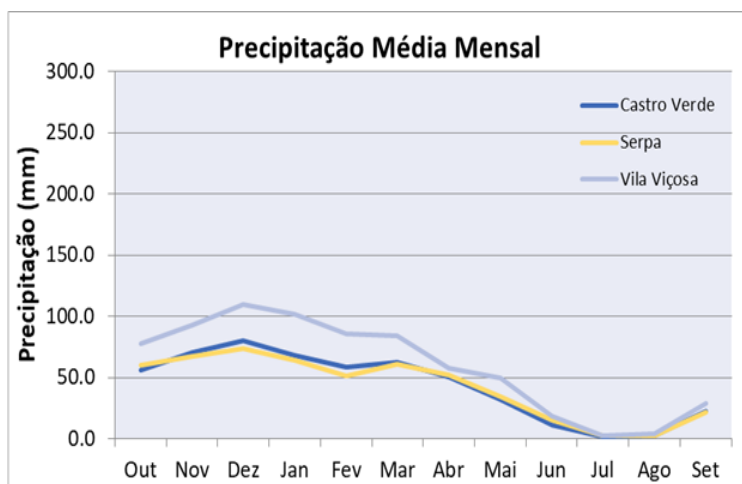


Figura 11. Variação da precipitação mensal média na Bacia do Guadiana

Verifica-se que os meses de Janeiro a Março são os que apresentam para todas as três estações analisadas uma tendência para decréscimo da precipitação. Na estação mais chuvosa não se observou uma tendência significativa para decréscimo da precipitação. Salienta-se ainda tendência negativa no período do Inverno, Figura 12.

Guadiana												
Estações	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Castro Verde				↘		↘			↘			
Serpa				↘		↘			↘			
Vila Viçosa			↘	↘		↘						

Figura 12. Teste de Mann-Kendall, bacia do Guadiana

3.2. Tendências sazonais e anuais

Na avaliação de tendências anuais e sazonais verifica-se que existe tendência para decréscimo da precipitação no Inverno e Primavera para as bacias do Douro e Tejo. Nas bacias do Minho/Lima e Guadiana esta tendência verifica-se essencialmente no Inverno, Figura 13 e 14.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

Douro	Sazonal				Anual
Estação	Outono	Inverno	Primavera	Verão	
Amarante		↘			
Castro Daire		↘	↘		↘
Deilão	↘	↘	↘	↘	↘
Escalhão		↘	↘		
Folgares		↘	↘		
Pinhel		↘	↘		↘
Rio Torto		↘	↘		↘
S. Marta da Montanha		↘			↘
Travancas		↘	↘		

Minho/Lima	Sazonal				Anual
Estação	Outono	Inverno	Primavera	Verão	
Ponte da Barca		↘			↘
Ponte de Lima	↘	↘	↘		↘
Portelinha		↘			↘

Figura 13. Teste de Mann-Kendall de tendências sazonais e anuais, bacias do Douro, Minho e Lima

Tejo	Sazonal				Anual
Estação	Outono	Inverno	Primavera	Verão	
Abrantes		↘	↘		↘
Ladoeiro		↘	↘		↘
R. Murta		↘	↘		↘
S. Tojal		↘			
Magos		↘	↘		↘
Chouto		↘	↘		↘
Vale de Peso		↘			

Estações	Sazonal				Anual
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	
Castro Verde		↘	↘		↘
Serpa		↘			↘
Vila Viçosa		↘			↘

Figura 14. Teste de Mann-Kendall de tendências sazonais e anuais, bacias do Tejo e Guadiana

4- CONCLUSÃO

Nas bacias do Minho e do Lima a precipitação anual média é elevada, cerca de 1577 mm, atingindo a precipitação anual nalguns locais valores superiores a 3000 mm. Foi também nesta bacia que se obtiveram os valores maiores de tendência para decréscimo, principalmente no Inverno.

Na bacia do Douro os valores de tendência negativa não são tão acentuados como nas bacias do Minho e Lima, no entanto a precipitação média anual é significativamente mais baixa, cerca de 890 mm. A região do Douro Internacional é aquela onde o impacto da redução na precipitação pode ser mais significativo no escoamento.

Na bacia do Tejo verifica-se que as tendências negativas são acentuadas. A precipitação média anual não é elevada, cerca de 694 mm, pelo que diminuição da precipitação compromete o escoamento no troço nacional do Tejo.

A bacia do Guadiana é onde o decréscimo negativo não é tão acentuado, no entanto nesta bacia precipitação anual média é a mais baixa, não ultrapassando os 590 mm. A redução da precipitação no Inverno e, simultaneamente, o aumento da temperatura nesta zona do país, terá certamente impacto no escoamento (Figura 15)

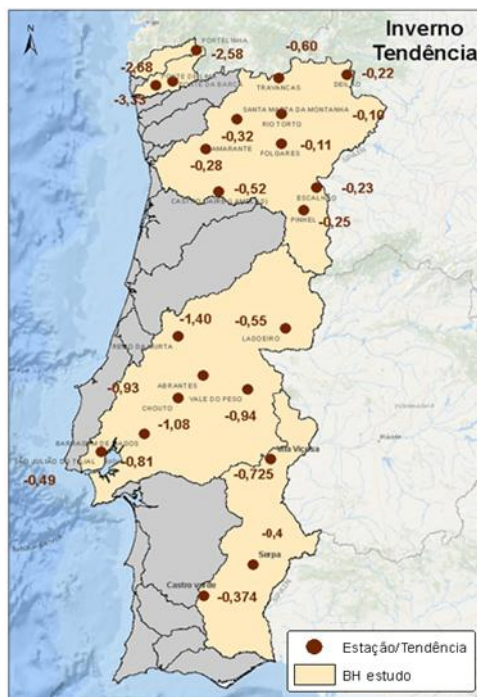


Figura 15. Mapa com as tendências do Inverno

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1998) “Convenção sobre Cooperação para a Proteção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-espanholas” e (2008) Protocolo Adicional

IPMA (2016) Relatório Climatológico, 2016, IPMA

WMO Statistical Methods for Analysing Datasets.

a. Livro

Chatfield, C. (1989), The Analysis of Time Series (an introduction).

Kendall, M.G.(1975). Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.

Mann, H.B. (1945) Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13, 245-259.

Sen, P.K.(1968) estimates of Regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, (63(324), 1379-1389



Von Neumann J (1941) Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. Annals of Mathematical Statistics, 13: 367–395.

c. Artigo de revista científica

Salviano, Marcos, et Al – (2016) - Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, 64-73

Javari, Maji (2016), Spatial-temporal Variability of Seasonal Precipitation in Iran. The Open Atmospheric Science Journal

Zhang et al, 2009 - Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. Global and Planetary Change 69:35-47. 2009.

f. Sítios na Internet (institucionais ou pessoais)

www.snirh.pt – Portal do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

www.ipma.pt – Portal do Instituto Português do Mar e da Atmosfera