

## A HIDROELETRICIDADE EM CONTEXTO DE MUDANÇA CLIMÁTICA. O CASO DE ESTUDO DE UMA MINI-HÍDRICA EM PORTUGAL CONTINENTAL

M. Manuela PORTELA<sup>1</sup>, Pedro Eira LEITÃO<sup>2</sup>, Francisco GODINHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico/Universidade de Lisboa, IST/UL, Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade, CERIS, Lisboa, Portugal, [maria.manuela.portela@ist.utl.pt](mailto:maria.manuela.portela@ist.utl.pt). <sup>2</sup>Hidroerg, Projectos Energéticos, Lda. Rua dos Lusíadas, n.º 9, 4.º Dta. Lisboa, [geral@hidroerg.pt](mailto:geral@hidroerg.pt)

### RESUMO

Vários estudos confirmam a diminuição da precipitação em Portugal Continental, presumivelmente em consequência das mudanças climáticas, o que necessariamente terá consequências a nível das disponibilidades hídricas e, logo, da produção de hidroeletricidade. Por força da sua conceção, antevê-se que os aproveitamentos a fio-de-água, sem capacidade de regularização, possam ser mais suscetíveis a tal circunstância. No presente artigo analisa-se a evolução temporal da energia produzida num pequeno aproveitamento hidroelétrico (pAHE) com exploração a fio-de-água, localizado na bacia hidrográfica do rio Douro, na tentativa de a relacionar com a evolução da precipitação e do escoamento, em termos de quantidade e de padrão temporal. O pAHE analisado é propriedade da HIDROERG, Projectos Energéticos, Lda. e entrou em exploração em fevereiro de 1993. Não obstante o estudo ter evidenciado reduções acentuadas da precipitação, consistentes com o contexto de mudança climática, as reduções do escoamento e da produção energética do pAHE são muito pequenas. Verificou-se, contudo, que existe uma concentração significativa dos anos de menor produção (e logo menor escoamento) num período curto do século XXI, durante o qual ocorreu também uma alteração no padrão intra anual do escoamento e da produção, com o aumento do contributo do período de fevereiro a maio para os totais anuais.

**Palavras-Chave:** Hidroeletricidade, Fio-de-água, Estacionaridade, Mudança climática.

### 1. INTRODUÇÃO

Existe de algum modo a expectativa de que a produção de energia em aproveitamentos hidroelétricos a fio-de-água possa estar a diminuir, ao mesmo tempo que aumenta a respetiva variabilidade interanual, em consequência das mudanças climáticas, designadamente, através de alterações nos padrões temporais e nos quantitativos da precipitação e do escoamento.

O facto de aquele tipo de aproveitamentos não possuir ou praticamente não possuir capacidade de regularização e de, conseqüentemente, a produção de energia seguir muito de perto os volumes a eles afluentes, torna-o mais suscetível a variações nesses volumes, mesmo quando apenas estão em causa alterações no padrão temporal da sua ocorrência. Com efeito, se os volumes afluentes passarem a ocorrer mais concentrados no tempo, sem qualquer alteração dos correspondentes quantitativos totais, a inexistência de capacidade de regularização não permite proceder ao seu armazenamento parcial e conseqüente redistribuição temporal visando compatibilizá-los com as condições de operação das centrais, designadamente, no que respeita aos máximos caudais suscetíveis de serem turbinados.

O presente artigo analisa a evolução temporal da energia produzida num pequeno aproveitamento hidroelétrico (pAHE) com exploração a fio-de-água, localizado em Portugal Continental, com o objetivo de concluir acerca da eventual existência de variações na produção de energia que, de algum modo, possam ser relacionadas com variações na precipitação e no escoamento, em termos de quantidade e de padrão temporal.

A análise de tal circunstância requer que se disponha de dados de exploração cobrindo um período suficientemente longo de modo a que as conclusões obtidas possam ser representativas dos condicionalismos hidrológicos. Contudo, apenas para alguns aproveitamentos se poderá ter acesso mais fácil a tais dados, designadamente, nos construídos no início da legislação relativa à produção independente de energia elétrica, datada de 1988, por tal legislação ter dado acesso a empresas privadas produtoras de energia elétrica, algumas delas ainda detentoras desses aproveitamentos e, logo, dos correspondentes dados de exploração.



# 14.º SILUSBA

O pAHE considerado no presente artigo situa-se no rio Ovil, afluente do rio Douro, na zona da albufeira do Carrapatelo, e entrou em exploração em 1993, pelo que a respetiva série de energias produzidas é suficientemente longa para testar a plausibilidade da premissa a avaliar, mediante a aplicação de modelos de índole estatística, ainda que simples. O aproveitamento está equipado com uma turbina Pelton, dimensionada para o caudal máximo turbinável de  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$  e para a queda bruta máxima de 202 m conducentes à potência instalada de 3.05 MW e à energia anual média produzida de 10.5 GWh. A área da respetiva bacia hidrográfica foi estimada em  $54 \text{ km}^2$  e o volume anual médio afluente, em  $38 \text{ hm}^3$ .

O pAHE é propriedade da HIDROERG, uma sociedade por quotas de capitais privados que tem por objeto a execução, gestão e exploração de instalações para a produção de energia elétrica a partir de recursos naturais renováveis, em fins únicos ou múltiplos. Conjuntamente com as demais sociedades em que participa, com objetos sociais afins, dispõe de dez centros produtores de energia elétrica, situados no Norte de Portugal Continental, com a potência global instalada de 37 MW (dos quais sensivelmente 29 MW em pequenos aproveitamentos hidroelétricos e os remanescentes em parques eólicos) e a produção anual média da ordem de 100 GWh (sensivelmente 80 GWh de origem hídrica).

## 2. DADOS DE BASE

Os dados de base utilizados na análise do caso de estudo compreenderam, no essencial, dados mensais de exploração do pAHE e dados hidrológicos recolhidos no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH, da responsabilidade da Agência Portuguesa do Ambiente.

Os dados de exploração referem-se a energias produzidas, desde fevereiro de 1993, data de início da exploração do pAHE, e a volumes turbinados, neste caso, apenas desde janeiro de 1998.

Os dados hidrológicos mensais respeitam a precipitações e a escoamentos representativos do regime hidrológico na bacia hidrográfica do pAHE. Relativamente a precipitações mensais, houve a preocupação de obter registos tão atualizados quanto possível, para o que, em fevereiro do corrente ano, se constituiu, a partir do SNIRH, uma base de dados de precipitações mensais em 764 postos. Mediante aplicação de uma técnica de preenchimento de falhas de precipitação (Santos et al., 2010), foi possível estimar as precipitações mensais até àquela data mais recente nos postos de Marco de Canavezes (06I/02UG), Campeã (06J/01UG) e Candemil (06J/02UG), inseridos nas proximidades da bacia hidrográfica do pAHE e, como tal, adotados no estudo, por se admitirem representativos do regime pluvioso naquela bacia (período com dados de 1992/93 a 2017/2018).

Como, em termos de escoamentos, os dados de exploração apenas incluem os turbinados, houve que proceder à estimativa dos escoamentos afluentes mediante reconstituição do regime natural na secção da tomada de água do pAHE. Para tanto foi necessário identificar uma estação hidrométrica (EH) disposta de uma série de caudais tão atualizada quanto possível e suscetível de ser transposta para a bacia hidrográfica do pAHE, de acordo com os critérios e procedimentos de transposição estabelecidos por Portela, Quintela (2006). Nestas condições apenas foi possível dispor da EH de Santa Marta do Alvão (05K/01H), cujos registos, para além dos constantes do SNIRH, foram gentilmente facultados pela EDP até julho de 2017, no âmbito do estudo efetuado por Trincão (2018). Uma vez transposta tal série para a secção da tomada de água do aproveitamento, procedeu-se à sua validação mediante a simulação, com base nessa série, da exploração da central, seguida da comparação entre escoamentos simulados e efetivamente turbinados. Verificou-se, assim, que a correlação entre escoamentos mensais, por um lado, simulados a partir da série transposta representativa do regime natural e, por outro lado, decorrentes dos dados de exploração entre janeiro de 1998 (início da aquisição dos dados de exploração) e junho de 2017 (final do período com registos em Santa Marta do Alvão) foi de 0.93. A correlação entre os correspondentes escoamentos anuais referidos a anos hidrológicos (embora com os anos hidrológicos inicial e final apenas com 9 meses) foi de 0.94. Em face dos elevados valores das correlações considerou-se que a série de escoamentos mensais transposta da EH de Santa Marta do Alvão representava apropriadamente o regime fluvial natural na secção da tomada de água do pAHE.

Importa esclarecer que os diferentes intervalos de tempo a que se referem os resultados incluídos no presente artigo foram consequência de estarem em presença séries temporais com diferentes dimensões.

### 3. MODELOS UTILIZADOS

A análise do comportamento ao longo do tempo das diferentes séries anuais em presença tendo em vista identificar tendências, ou seja, quebras de homogeneidade, utilizou a técnica de médias móveis. Dado que se está em presença de séries muito curtas, fixou-se em 10 a dimensão dos subconjuntos sucessivos, como única forma de obter informação em quantidade suscetível de ser analisada. De modo a tornar os resultados relativos a diferentes variáveis comparáveis, adimensionalizaram-se as médias móveis por divisão pelos correspondentes valores anuais médios. A deteção de tendências estatisticamente significativas utilizou o teste não-paramétrico Man-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1955) para o nível de significância de  $\alpha = 0.05$ . Para avaliar a magnitude dessas tendências aplicou-se o estimador de declive de Sen (Sen, 1968).

### 4. RESULTADOS

A precipitação anual nos três postos considerados variou consideravelmente ao longo do período estudado (coeficiente de variação médio de  $cv=0.49$ ), sendo acompanhada muito de perto pela variação interanual do escoamento em regime natural ( $cv=0.47$ ). Já a variação interanual da energia produzida foi bastante menor, uma vez que devido a limitações inerentes à própria tecnologia de produção hidroelétrica, não é possível o aproveitamento dos caudais afluentes, quando muito pequenos ou muito elevados ( $cv=0.32$ ).

Na Figura 1 apresentam-se as médias móveis adimensionais em períodos de 10 anos consecutivos das precipitações em ano hidrológico e no 1º semestre de tal ano (outubro a março) nos três postos udométricos considerados, da energia produzida no pAHE e, ainda, dos escoamentos a ele afluentes em regime natural.

A figura mostra claramente decréscimos muito acentuados das precipitações entre 1992/93 e 2017/18, os quais se concluiu serem sempre significativos (para  $\alpha = 5\%$ ), à exceção da precipitação no 1º semestre no posto de Candemil, em que o correspondente decréscimo ainda é explicado pela variabilidade interanual da precipitação. Os valores dos decréscimos da precipitação obtidos de acordo com o estimador de declive de Sen variaram entre 16.7 (Candemil, não obstante não significativo) e 33.9 mm/ano (Campeã), no que respeita à precipitação no 1º semestre, e entre 22.4 e 56.7 mm/ano também naqueles dois postos, relativamente à precipitação anual. Confirma-se estarem, assim, em causa reduções muito significativas da precipitação.

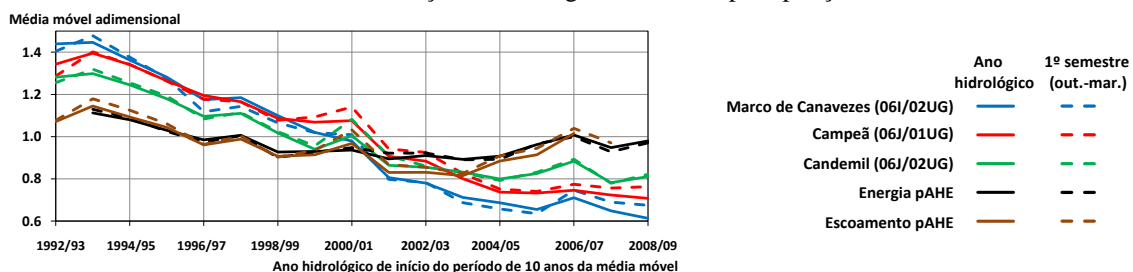


Figura 1 – Médias móveis adimensionais dos valores anuais e semestrais das precipitações em três postos com influência na bacia hidrográfica do pAHE (1992/93 a 2017/18), da energia produzida no pAHE (1993/94 a 2017/18) e dos escoamentos a ele afluentes em regime natural (1993/94 a 2016/17, para o ano, e 1993/94 a 2017/18, para o semestre).

As médias móveis relativas à energia produzida no pAHE e aos escoamentos afluentes à respetiva tomada de água apresentam andamentos muito próximos, o que, mais uma vez, confere plausibilidade ao modelo de regionalização de escoamentos em regime natural. Verifica-se, contudo, que não ocorrem variações persistentes muito acentuadas (facto, aliás, confirmado pelo teste de Man Kendall que não detetou qualquer tendência significativa), sendo que inclusivamente aparenta haver ligeiro acréscimo de valores em anos recentes. Não obstante, em seis dos oito anos compreendidos entre 2002/03 e 2009/10 registaram-se produções anuais inferiores à média, compreendendo a menor produção anual desde sempre registada naquele primeiro ano, de apenas cerca de 42.5% da produção anual média. A partir daí tem havido alguma recuperação na energia produzida, apesar de o ano de 2016/17 ter também sido muito seco (produção de cerca de 57% da média).

O facto de a variação do escoamento e da energia produzida não acompanhar a da precipitação foi, de algum modo, inesperado, sugerindo que a bacia hidrográfica apresenta alguma resiliência à diminuição da precipitação.

Para exemplificar a alteração do padrão intra anual da produção de energia, selecionaram-se os períodos de 4 meses, de fevereiro a maio, e de 8 meses, de junho a janeiro, cuja contribuição para a produção anual é em média de cerca de 53% e 47%, respetivamente, o que denota a importância contributiva daquele primeiro período. Recorrendo, mais uma vez, a médias móveis, especificaram-se as contribuições adimensionais daqueles períodos

para os totais anuais, tanto da produção de energia elétrica, como dos escoamentos anuais afluentes em regime natural – Figura 2.

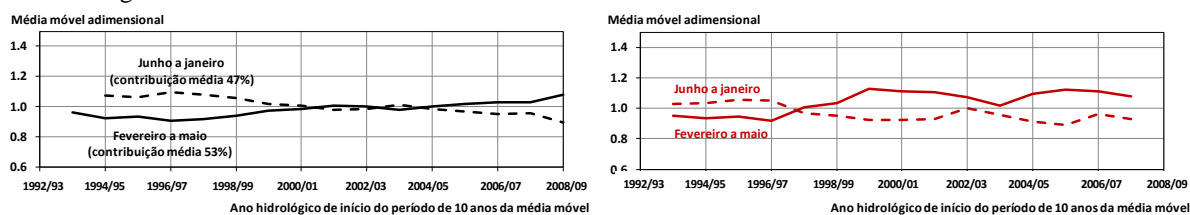


Figura 2 – Médias móveis adimensionais das contribuições, para os respetivos totais anuais, da energia elétrica produzida (à esquerda) e do escoamento afluente em regime natural (à direita) nos períodos de fevereiro a maio e de junho a janeiro.

A anterior figura mostra que tem havido uma alteração no padrão intra anual da produção de energia elétrica de algum modo justificada pela alteração desse padrão no que respeita ao escoamento. Com efeito, no período de fevereiro a maio assiste-se a um aumento, não só da contribuição do escoamento desse período para o escoamento anual, mas também da energia produzida, embora de modo não tão evidente, uma vez que, por mais que os caudais afluentes possam aumentar, pontualmente ou não, a produção de energia está sempre limitada ao caudal de dimensionamento central hidroelétrica. Por outro lado, verifica-se que a contribuição da produção de energia elétrica para o total anual no período de junho a janeiro acompanha muito mais de perto a diminuição do escoamento, pois supostamente não deverá ser tão frequentemente a limitação decorrente do caudal de dimensionamento. Menciona-se que a precipitação evidenciou uma alteração de padrão intra anual semelhante.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo realizado evidenciou um claro decréscimo da precipitação desde 1992/93 consistente com as consequências esperadas das mudanças climáticas. Contudo, as variações do escoamento em regime natural e da produção de energia elétrica revelaram-se muito pequenas, tendo resultado numa redução na produção média do pAHE durante o período estudado que ficou aquém da expectativa que motivou a análise.

Não obstante, constatou-se haver uma concentração dos anos de menor produção (e escoamento) já no século XXI, com seis dos oito anos compreendidos entre 2002/03 e 2009/10 com produções anuais inferiores à média.

Verificou-se, também, que ocorreu uma alteração no padrão intra anual do escoamento e da produção hidroelétrica nos anos iniciais daquele século, passando o período de apenas 4 meses, de fevereiro a maio, a ser o mais contributivo para os totais anuais. Tal circunstância alerta para a suscetibilidade do pAHE ao regime da precipitação e, logo, do escoamento em períodos de tempo muito curtos.

Resta, por ora, monitorizar a evolução das variáveis analisadas, já que não se identificaram intervenções que, de algum modo, permitissem minorar as consequências na produção de energia elétrica dos efeitos detetados.

## 6. REFERÊNCIAS

- Kendall, M.G., 1955. Rank correlation methods. The British Psychological Society
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Portela, M.M., Quintela, A.C., 2006, Estimação em Portugal Continental de escoamentos e de capacidades úteis de albufeiras de regularização na ausência de informação hidrométrica, *Recursos Hídricos*, 27(2):7-18, ISSN 0870-1741, Lisboa.
- Santos, J.F., Pulido-Calvo, I., Portela, M.M., 2015. Spatial and temporal variability of droughts in Portugal, *Water Resources Research*, 46.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63 (324), 1379–1389.
- Trincão, M., 2018, *Aplicabilidade da ferramenta COSH-tool no estudo do fenómeno do hydropedaking em pequenos aproveitamentos hidroelétricos localizados em Portugal Continental*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.