

ARTIGO REF: 6437

A EVAPORAÇÃO E O VAPOR DE ÁGUA NA ATMOSFERA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DE AVEIRO

Mário Talaia^(*)

Universidade de Aveiro, Departamento de Física (CIDTFF) - Aveiro, Portugal

^(*)*Email:* mart@ua.pt

RESUMO

Na literatura da especialidade estão disponíveis vários métodos para a determinação da evaporação. O processo da evaporação de água e seu balanço é estudado. São usados alguns métodos e os dados permitem apresentar uma expressão empírica aplicável à região que permite fazer a previsão da quantidade de água que passa do estado líquido ao estado de vapor de água.

Neste trabalho é estimada a evaporação na região de Aveiro, zona litoral norte de Portugal, para um período de 8 anos de dados registados na estação meteorológica clássica da Universidade de Aveiro. Os resultados obtidos mostram que a evaporação é influenciada pela radiação solar direta que condiciona a temperatura do ar e a intensidade da velocidade do vento durante os meses do ano. É apresentada uma correlação ortogonal que permite prever a evaporação da água quando se consideram os valores do evaporímetro de Piche e da tina de evaporação de Classe A.

INTRODUCTION

A evaporação é um processo de duas fases. A primeira fase ocorre quando as moléculas de água adquirem energia suficiente para romperem a camada superficial na interface líquido/gás e escapam para a atmosfera. O vapor de água injetado na atmosfera aumenta a temperatura de ponto de orvalho ou seja aumenta a quantidade de água no estado gasoso. Para acontecer a primeira fase do processo a energia necessária é fornecida principalmente pela radiação solar. Pode-se afirmar que a segunda fase consiste em transportar as moléculas de vapor de água da vizinhança da superfície da interface da água para a atmosfera.

As gotas de água que caem no solo e que definem a precipitação é distribuída através do relevo do solo para rios e lagos. Uma parte infiltra-se no solo e forma os lençóis freáticos. Por exemplo, durante a sua residência em lagos parte dessa água, devido a influência direta da radiação solar e ao poder absorvente do ar húmido, evapora e volta à atmosfera (Talaia e Coelho, 2006).

Durante os últimos 50 anos houve um grande aumento no número de lagos artificiais para o armazenamento de água de irrigação, abastecimento de água municipal, geração de energia, arrefecimento industrial ou simplesmente para fins ornamentais em áreas residenciais urbanas. A evaporação de água de lagos naturais ou artificiais suscita uma perda importante e crescente do balanço de água terrestre, particularmente em regiões áridas (Dunne e Leopold, 1978).

O cálculo do balanço hídrico e das flutuações da salinidade nas zonas litorais, como é o caso da região de Aveiro, necessita de prever taxas de evaporação durante o ano (Langbein, 1961; UNESCO/WHO/UNEP, 1996).

Os métodos de estimativa da evaporação incluem métodos de balanço de água e de energia, métodos comparativos como por exemplo a tina de evaporação de Classe A e o evaporímetro de Piche e métodos aerodinâmicos que valorizam a turbulência do ar e o gradiente de transferência de massa.

É sabido que o intercâmbio de vapor de água entre uma superfície de água e a atmosfera é um processo que é condicionado pela radiação solar e pelas grandezas meteorológicas (Talaia e Augusto, 2008). São determinantes a humidade relativa do ar e a intensidade da velocidade do vento. Uma atmosfera absorvente ou seja com baixo valor de humidade relativa do ar registado indicia que para uma alta temperatura do ar favorece uma admissão de vapor de água se houver corpos de água. Equivale a afirmar que a temperatura de ponto de orvalho aumenta através da admissão no ar húmido (atmosfera) que condiciona a quantidade de água no estado gasoso (Talaia e Vigário, 2016)

Segundo Peixoto (1973) o processo de evaporação de água nas superfícies livres de água favorece a geração de muitas fórmulas que relacionam variáveis meteorológicas, ou equações de regressão que ligam as medidas registadas no evaporímetro de Piche a outros instrumentos (Peixoto, 1973). Nestas circunstâncias surgiu o grande interesse de determinar a evaporação através de métodos experimentais e teóricos.

MÉTODOS

Diferentes métodos estão disponíveis na literatura da especialidade para estimar o valor da evaporação de água (Gelabert, 1984). A interpretação e comparação dos resultados obtidos é difícil porque há diferentes hipóteses e diferentes escalas temporais e espaciais.

O método mais comum para estimar a evaporação de uma superfície livre de água em contato com a atmosfera é através do uso de uma tina de evaporação. A Standard National Weather Service Class A tina de evaporação é a mais usada e é colocada a céu aberto. A evaporação é medida, normalmente de 24 em 24 horas, com base na flutuação da coluna de água contida no recipiente (tina), em que a cada 24 horas é calculado o balanço de água tendo por dados o valor lido da coluna de água e o valor da precipitação (num udómetro ou udógrafo).

Um método usado neste trabalho para estimar a evaporação foi o de Penman-Kohler para relacionar a evaporação estimada num tanque de Classe A com variáveis meteorológicas.

A equação de Penman (1948) que permite estimar o valor da evaporação E_{tina} ($mm.dia^{-1}$) é dada por

$$E_{tina} = \left[\frac{(R_n \Delta + E_a \gamma)}{(\Delta + \gamma)} \right] \quad (1)$$

em que R_n representa a radiação líquida ($mm.dia^{-1}$), Δ a inclinação da curva de tensão saturante à temperatura T_a , E_a um parâmetro função da velocidade do vento e do défice de pressão de saturação determinado através de $\left[= (a + bv)(e_s - e_a) \right]$, γ uma constante (equação

paramétrica, valor usado 0,61), a e b são constantes a determinar que dependem de fatores topográficos, v a intensidade da velocidade do vento (km.dia⁻¹), e_s a pressão parcial de vapor de saturação à temperatura do ar T_a (mm.Hg), e_a a pressão parcial de vapor atual à temperatura do ar T_a (mm.Hg).

ou

$$E_{\text{tina}} = \left(H \frac{\Delta}{A} + E_a \right) / \left(\frac{\Delta}{A} + 1 \right) \quad (2)$$

onde $E_a = (0,013 + 0,00016v)(1 - U)e_{w(T_s)}$ (cm.dia⁻¹) com v a representar a intensidade da velocidade do vento a 2m acima da superfície livre de água (km.dia⁻¹), U a humidade relativa do ar em centésimas, $e_{w(T_s)}$ a pressão de vapor saturado à temperatura do ar T_a (hPa), T_a a temperatura média do ar com base da temperatura máxima e mínima de cada dia (°C); H representa a radiação útil expressa em altura de evaporação dada por $[= Q_n / (\rho \ell)]$ com ρ a representar a massa volúmica da água (g.cm⁻³), ℓ o calor de transformação cujo valor usado foi 590cal.g⁻¹, Q_n a radiação útil dada por $(= 0,890Q_s - 56)$ (cal.cm⁻².dia⁻¹), Q_s a radiação solar incidente (ou radiação global) dada por $[= I_0 (0,803 - 0,340C - 0,458C^2)]$, I₀ a constante solar sendo um valor tabelado que depende da latitude (neste trabalho usou-se o valor 355cal.cm⁻².dia⁻¹), C a nebulosidade média mensal, Δ/A um parâmetro adimensional função da temperatura média do ar (retirado de tabelas).

Foram usadas fórmulas empíricas para estimar a evaporação de superfícies livres de massa de água, através da utilização de dados meteorológicos registados numa estação meteorológica (Gelabert, 1984). A justificação do uso de algumas variáveis não é de simples explicação assim como a estatística usada para a dedução de expressões. As fórmulas empíricas usadas foram de Christiansen and Hargreaves (Geabert, 1984), designadas de primeira fórmula empírica de Christiansen and Hargreaves

$$E_{\text{tina}} = 17,4 C_a T_a F_H F_v F_s F_h \quad (2)$$

e de segunda fórmula empírica de Christiansen and Hargreaves

$$E_{\text{tina}} = 0,459 R_t C_t C_v C_H C_s C_h \quad (3)$$

em que E_{tina} representa o valor da evaporação na tina (mm.mês⁻¹), C_a um coeficiente que depende da duração média dos dias do mês (há disponíveis tabelas para diferentes meses do ano e função da latitude), T_a a temperatura média mensal do ar, F_H um fator que depende da humidade relativa do ar dado por $(= 0,59 - 0,55H^2)$, H a humidade relativa média mensal em centésimas, F_v um fator que depende da intensidade da velocidade do vento $(= 0,75 + 0,0255\sqrt{v})$, v a intensidade da velocidade do vento em km.dia⁻¹, F_s um fator que depende da insolação dado por $[= 0,478 + 0,58(n/N)]$, (n/N) a insolação relativa em centésimas, F_h um fator que depende da altitude dado por $(= 0,950 - 0,0001h)$, h a altitude do lugar (m), R_t radiação mensal no topo da atmosfera expressa em evaporação equivalente (mm.dia⁻¹) - são disponíveis na literatura da especialidade tabelas com distribuição nos meses

e nas latitudes em $\text{cal.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e tabelas com valores médios mensais da radiação no topo da atmosfera expressa em mm.dia^{-1} de evaporação equivalente, C_t um fator que depende da temperatura dado por $\left[=0,393+0,559(T_a/T_0)+0,048(T_a/T_0)^2\right]$, T_0 a temperatura de referência assumida ser de 20°C , C_v um fator que depende do vento dado por $\left[=0,708+0,328(v/v_0)-0,036(v/v_0)^2\right]$, v_0 a intensidade da velocidade do vento de referência assumida ser $96,56\text{km.dia}^{-1}$, C_H um fator que depende da humidade relativa do ar dado por $\left[=1,25-0,242(H/H_0)-0,013(H/H_0)^6\right]$, H_0 a humidade relativa do ar de referência assumida ser $0,55$, C_s um fator que depende da insolação dado por $\left[=0,542+0,640(S/S_0)-0,499(S/S_0)^2+0,317(S/S_0)^3\right]$ em que $S = n/N$, S_0 a insolação de referência assumida ser $0,80$, C_h um fator que depende da altitude dado por $(=0,970-0,030h/h_0)$, h_0 altura do lugar assumida como referência de valor 305m .

Com base nos resultados registados e reais foi desenvolvida uma fórmula empírica condicionada ao longo do ano pelos meses e temperatura média mensal para a região de Aveiro, com coordenadas geográficas cerca de 40°N e 8°W . A temperatura média diária do ar foi calculada pela média entre a temperatura mínima e máxima de cada dia.

Foi assumido que a evaporação da água é apenas controlada no tempo e na temperatura média mensal e é determinada por,

$$E_{\text{tina}} = AT_a^4 + BT_a^3 + CT_a^2 + DT_a + 90 \quad (4)$$

onde para cada mês as constantes são indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Constantes para a região de Aveiro

Meses	A	B	C	D
Janeiro	$3,18 \times 10^{-5}$	$-6,97 \times 10^{-3}$	0.46	-8.21
Fevereiro	$2,79 \times 10^{-4}$	$-3,56 \times 10^{-2}$	1.35	-14.13
Março	$7,36 \times 10^{-4}$	$-7,35 \times 10^{-2}$	2.19	-18.00
Abril	$1,83 \times 10^{-3}$	$-1,46 \times 10^{-1}$	3.46	-22.61
Maio	$1,78 \times 10^{-3}$	$-1,43 \times 10^{-1}$	3.41	-22.46
Junho	$2,35 \times 10^{-3}$	$-1,76 \times 10^{-1}$	3.92	-24.06
Julho	$3,15 \times 10^{-3}$	$-2,19 \times 10^{-1}$	4.54	-25.90
Agosto	$5,03 \times 10^{-3}$	$-3,11 \times 10^{-1}$	5.73	-29.11
Setembro	$1,20 \times 10^{-2}$	$-5,95 \times 10^{-1}$	8.84	-36.15
Outubro	$2,93 \times 10^{-2}$	-1,17	13.83	-45.22
Novembro	$9,33 \times 10^{-2}$	-2,78	24.69	-60.42
Dezembro	$2,36 \times 10^{-1}$	-5,57	39.24	-76.16

Uma expressão é apresentada para mostrar a correlação entre a evaporação obtida numa tina evaporimétrica de Classe A e um evaporímetro de Piche. Há uma diferença entre os dois métodos pois os instrumentos de medida estão localizados em situação desigual. Enquanto a tina de evaporação de Classe A é colocada a céu aberto e sujeita à radiação solar direta o evaporímetro de Piche é colocado no interior de um abrigo meteorológico.

A Figura 1 mostra a tina evaporimétrica de Classe A usada neste trabalho. De salientar que a tina evaporimétrica de Classe A é colocada totalmente a céu aberto e num estrado horizontal de madeira (tem a vantagem de se observar se há fugas de água). Tem no seu interior um sistema de medição métrica de parafuso com precisão ao milímetro. Uma bóia com termómetros está colocada no interior da tina. A imagem do lado direito da Figura 1 mostra o pormenor do sistema de medir a evaporação.



Fig. 1 - Tina de evaporação Classe A com anemómetros e pormenor do instrumento de medida.

A Figura 2 mostra o abrigo meteorológico onde está colocado o evaporímetro de piche (é um instrumento de medida idêntico a uma proveta invertida). A seta indica a localização do evaporímetro de Piche e a imagem da direita da Figura 2 mostra como é colocado na parede de madeira de persianas inclinadas. Na base ou boca, como se observa, está colocado um suporte próprio com papel de filtro que permite a evaporação da água contida no instrumento.

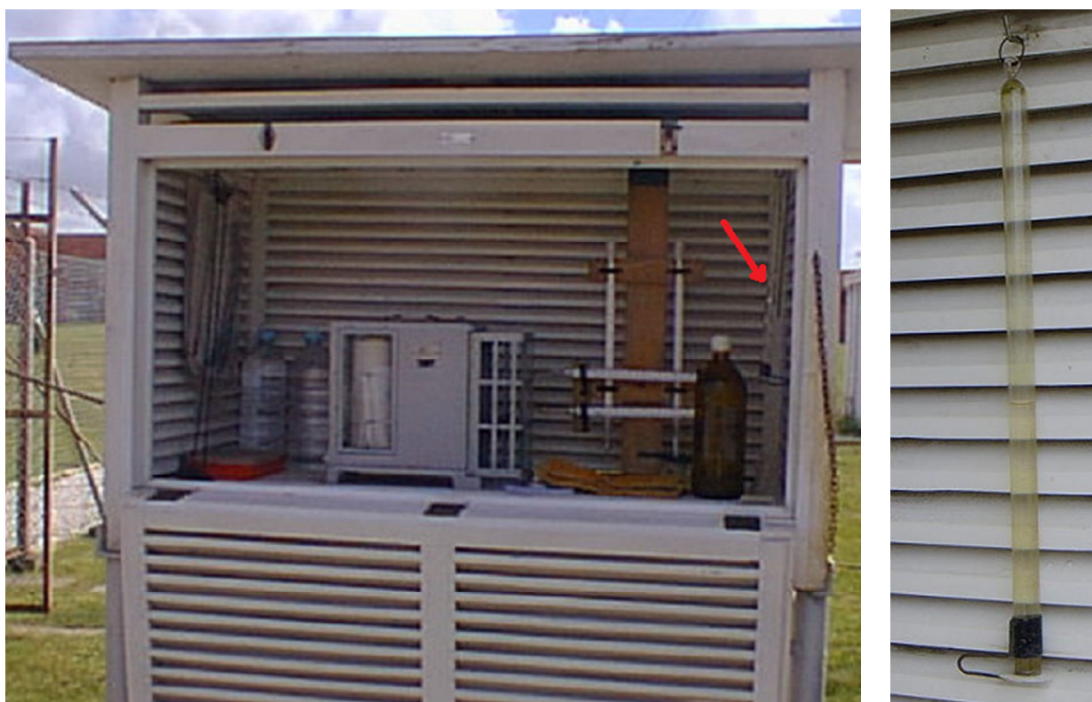


Fig. 2 - Abrigo meteorológico e evaporímetro de Piche.

A escala do instrumento indica a posição do nível da água destinada e a diferença entre duas medidas (normalmente de 24h) indica o valor da evaporação. A escala está calibrada de modo a indicar directamente a unidade mmca (milímetros coluna de água evaporada).

RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

Pode-se considerar impossível medir directamente a evaporação de uma superfície de água em contacto com a atmosfera. O processo de evaporação envolve inúmeros fatores que dificulta a previsão do seu valor devida a natureza do fenómeno envolvido. A variedade de instrumentos e métodos limitou a frequente comparação de resultados.

Na região de Aveiro os dados experimentais da evaporação foram lidos na tina de evaporação de Classe A e no evaporímetro de Piche.

Na Figura 3 são mostradas diferentes linhas que indicam a evaporação mensal de acordo com o método usado e os dados experimentais.

A observação visual das linhas indicadas na Figura 3 mostra inequivocamente que o método desenvolvido neste trabalho é o que apresenta maior precisão. Os outros métodos mostram um erro sistemático face aos valores reais registados.

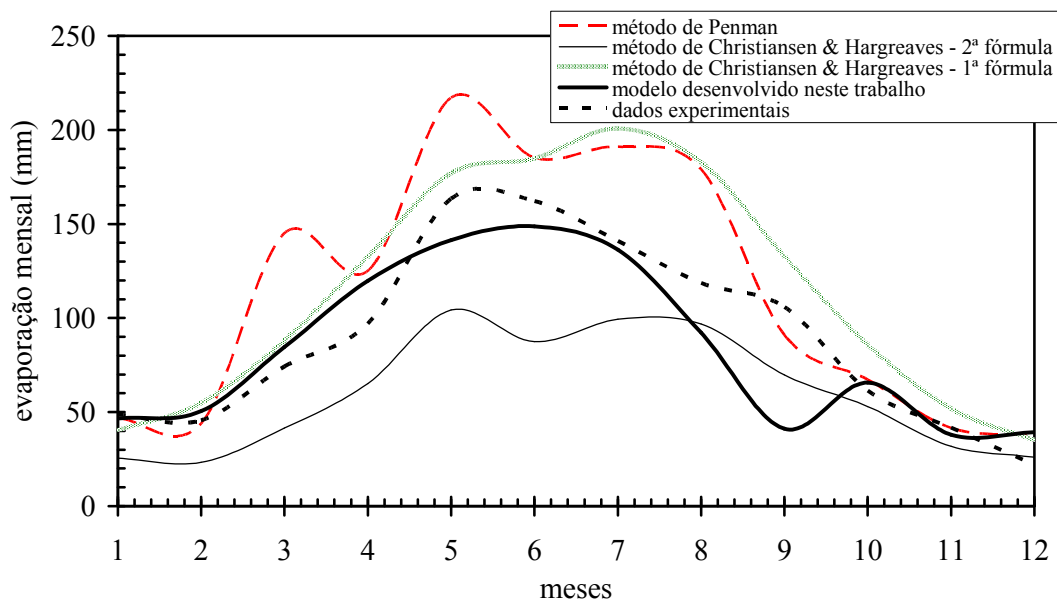


Fig. 3 - Evaporação mensal estimada e real usando diferentes métodos.

Na Figura 4 são mostradas diferentes linhas de evaporação acumulada no ano de acordo com o método usado e os dados experimentais.

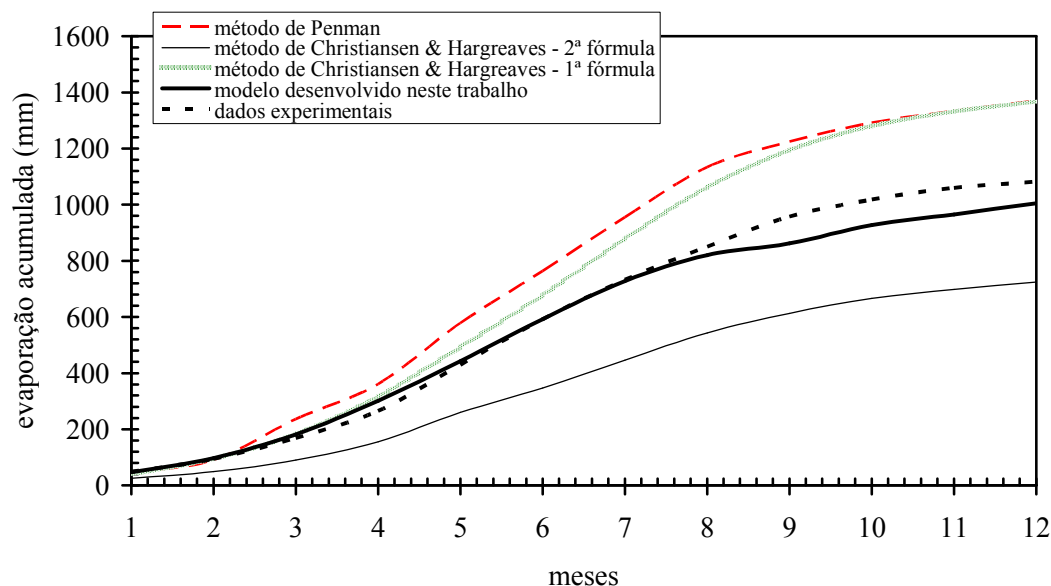


Fig. 4 - Evaporação acumulada estimada e real usando diferentes métodos.

A observação visual da Figura 4 mostra que o método desenvolvido neste trabalho sugere uma boa estimativa para a evaporação ao longo do ano.

Fez-se uma comparação entre os dados registados na tina evaporimétrica de Classe A e o evaporímetro de Piche usando uma correlação ortogonal.

A Figura 5 mostra os pares de valores registados e acumulados para o ano (em número de doze meses) e a linha de tendência com um declive de 1,116. Regista-se um ponto médio de coordenadas: evaporação na tina de Classe A igual a 598,5mm e evaporação de Piche igual a 547,6mm. O valor no ponto médio da estimativa da evaporação é de 597,6mm e a correlação apresenta significância com um coeficiente de correlação de 0,9942.

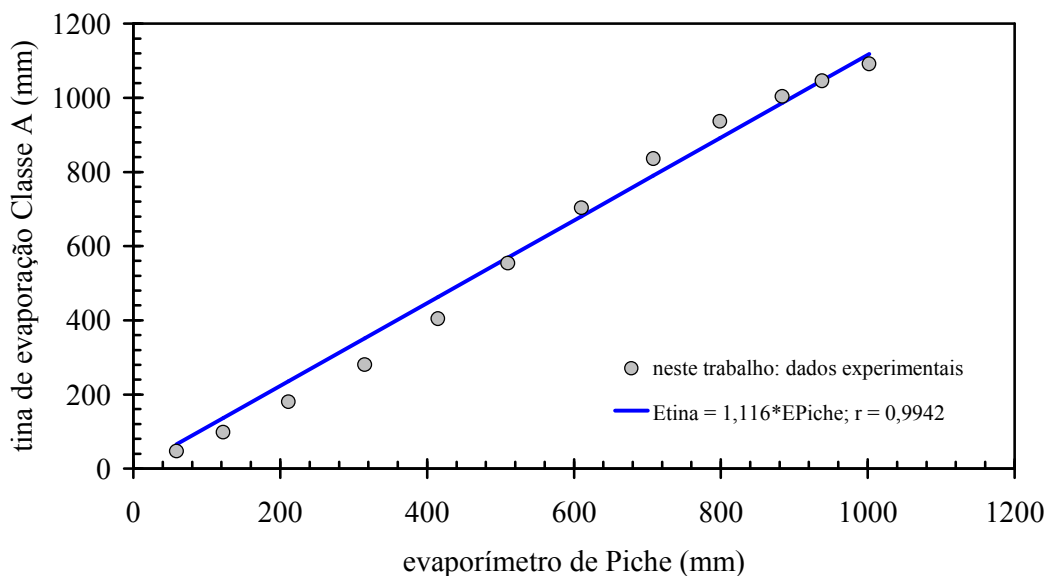


Fig. 5 - Correlação ortogonal entre dados registados na estação meteorológica da Universidade de Aveiro.

Para um total de 96 pontos registados (ou 96 meses) estudaram-se correlações para a região de Aveiro quando são usados os dados reais da tina evaporimétrica de Classe A e o evaporímetro de Piche.

A correlação encontrada mostra que para se prever a evaporação em mm.mês^{-1} sugere-se a expressão,

$$E_{\text{tina}} = 1.271E_{\text{Piche}} - 15.18 \quad (\text{mm.mês}^{-1}) \quad (5)$$

com um coeficiente de correlação de 0,7123

e

$$E_{\text{tina}} = 0.512E_{\text{Piche}} + 521.06 \quad (\text{mm.ano}^{-1}) \quad (6)$$

Este ultimo resultado parece concordante com o valor encontrado por Lourenço e Macedo (1982) para o Sul de Portugal e dado por,

$$E_{\text{tina}} = 0.422E_{\text{Piche}} + 915.245 \quad (\text{mm.ano}^{-1}) \quad (7)$$

CONCLUSÕES

Para a zona litoral norte de Portugal, região de Aveiro, foi estudado o processo de evaporação. Diferentes métodos foram usados para estimar o valor da evaporação de um corpo de água de uma tina de evaporação de Classe A.

Os dados registados permitiram desenvolver uma fórmula empírica que prevê a evaporação por mês função da temperatura média do ar.

Os resultados obtidos sugerem que a fórmula empírica deduzida neste trabalho prevê valores que acompanham os dados reais registados, com uma precisão de cerca de 7%.

Dados registados num evaporímetro de Piche foram estudados e comparados com os dados registados na tina evaporimétrica de Classe A, no mesmo período de tempo (8 anos). Foram deduzidas e apresentadas correlações ortogonais que permitem abordar e conhecer a relação entre os dois instrumentos de medida.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece parte do suporte financeiro concedido pela FCT, o que significa que o trabalho foi, também, financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UID/CED/00194/2013.

REFERÊNCIAS

[1]-Carvalho, J.D. & Lourenço, J.M., Evaporação. Determinação de relações tanque A-Piche em Moçambique, Lourenço Marques, 1970.

[2]-Dunne, T. & Leopold, L.B., Water in Environmental Planning, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1978.

[3]-Gelabert, J.M., Evaporación en embalses, Secretaria General Tecnica, Madrid, 1984.

[4]-Langbein, W.B., Salinity and Hydrology of closed lakes, U.S. Geological Survey Professional Paper 412, 1961.

[5]-Lourenço, J.M. & Macedo, M.E.V.Z., Relação entre a evaporação Tina e Piche, Recursos Hídricos, Vol 3 (1), Lisboa, 1982.

[6]-Peixoto, J.P., Hidrometeorologia dinâmica. Instituto Geofísico Infante Don Luís, Lisboa, 1973.

[7]-Penman, H.L., Natural evaporation from open water, soil and grass, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 193, pp. 120-145, 1948.

[8]-UNESCO/WHO/UNEP, Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Edited by Deborah Chapman. University Press, Cambridge, 1996.

[9]-Talaia, M. & Vigário C., Temperatura de ponto de orvalho: um risco ou uma necessidade. In Geografia, Cultura e Riscos. Livro de Homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa. Luciano Lourenço (Coords.), Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 169-197, 2016.

[10]-Talaia, M. e Augusto A.C., O Processo da Evaporação numa Actividade Simples. Educación Enerxética, Enerxías Renovables e Cambio Climático. In Colección: Informes e Propostas n.º 20. ICE, Rodrigues, J.M. e Domínguez, M.A.F. (Eds.). Universidade Santiago de Compostela, pp. 235-241, 2008.

[11]-Talaia, M. e Coelho, A., A evaporação da água numa perspectiva de ciclo hidrológico. Boletín das ciencias, Ano 19, N.º. 61, pp. 143, 2006.