

ESTIMATIVA DIÁRIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR HARGREAVES-SAMANI E AJUSTE DE PARÂMETROS PARA ALAGOAS

ALLAN CUNHA BARROS¹; FERNANDA FERREIRA DA SILVA²; PAULO HENRIQUE VIEIRA ARAUJO³; PEDRO ROBINSON FERNANDES DE MEDEIROS⁴ E JOÃO ALBERTO LELIS NETO⁵

¹Curso de agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Avenida Manoel Severino Barbosa, s/n - Bom Sucesso, CEP: 57309-005, Arapiraca - AL, Brasil. E-mail: allan.cunha@arapiraca.ufal.br

²Curso de agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Avenida Manoel Severino Barbosa, s/n - Bom Sucesso, CEP: 57309-005, Arapiraca - AL, Brasil. E-mail: nandaferreiranunes@gmail.com

³Curso de agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Avenida Manoel Severino Barbosa, s/n - Bom Sucesso, CEP: 57309-005, Arapiraca - AL, Brasil. E-mail: paulinhuvieira2@gmail.com

⁴Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Avenida Antônio Carlos Magalhães, 510 - Santo Antônio, CEP: 48902-300, Juazeiro - BA, Brasil. E-mail: pedro.fernandes@univasf.edu.br

⁵Departamento de engenharia, Metos Brasil, Rua Ângela Tomé, 236 CEP: 9624-070, São Bernardo do Campo - SP, Brasil. E-mail: joao.lelis@metos.at

1 RESUMO

A estimativa da ETo, pelo método de Hargreaves-Samani (HS), é feita com dados de fácil acesso: dados de temperatura do ar. Pequenos e médios produtores podem utilizá-lo para o manejo da água em suas propriedades agrícolas. Apesar da simplicidade, alguns autores recomendam o ajuste dos parâmetros da equação de Hargreaves-Samani, para a redução dos erros da estimativa. Assim, o objetivo deste trabalho é calibrar a equação de HS para diferentes cidades do estado de Alagoas em substituição à equação original (Penman Monteith) e realizar ajuste dos seus parâmetros. Utilizou-se uma série de dados históricos, de 2006 a 2013, e os tratamentos foram baseados no ajuste de três variáveis. Os parâmetros empíricos “k1”, “k2” e “k3” foram calibrados através de técnica de otimização que buscou reduzir o valor da soma dos desvios dos erros. A análise das estimativas e calibrações foi feita através do cálculo do erro-padrão de estimativa (EPE), do índice de “d” de Willmott (d), dos coeficientes de determinação (R²) e do coeficiente de confiança ou desempenho “c”. Os resultados mostraram bom desempenho do modelo na sua forma original, com erro de estimativa médio de 0,691 mm.dia⁻¹; após a calibração foi possível reduzir o erro em 22,47% e melhorar os índices estatísticos. A equação de HS, ajustada ou não, é uma alternativa à estimativa da ETo em escala diária para as cidades avaliadas no estado de Alagoas.

Palavras-chave: Penman-Monteith, Calibração de parâmetros, Temperatura do ar

BARROS, A. C.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, P. H. V.; MEDEIROS, P. R. F.; LELIS NETO, J. A.

DAILY ESTIMATE OF EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE BY HARGREAVES-SAMANI AND ADJUSTMENT OF PARAMETERS FOR ALAGOAS

2 ABSTRACT

The ETo by Hargreaves-Samani equation is calculated with easily accessible data, air temperature data. Small and medium-sized producers can use it for water management on their farms. Despite the simplicity, some authors recommend adjusting the parameters of the Hargreaves and Samani equation to reduce estimation errors. Thus, the objective of this work is to evaluate the HS equation for different cities in the state of Alagoas, replacing the original equation (PM) and adjusting its parameters. We used a series of historical data from 2006 to 2013 and the treatments were based on the adjustment of three variables. The empirical parameters a, b and c were calibrated through an optimization technique that sought to reduce the sum of the error deviations. The analysis of the quality of the estimates and calibrations was done by calculating the standard error of estimation (EPE), the Willmott's "d" index (d), coefficients of determination (R^2) and the confidence coefficient or performance "c". The results showed good performance of the model in its original form, with an average error of $0.691 \text{ mm.dia}^{-1}$, and after the calibration it was possible to reduce the error and 22.47% and to improve the statistical indices. The HS equation, adjusted or not, is an alternative to the estimate of ETo on a daily scale for the cities evaluated in the State of Alagoas.

Keywords: Penman-Monteith, Parameters calibration, Air temperature

3 INTRODUÇÃO

Evapotranspiração é o indicador do consumo de água pela cultura e seus dados são utilizados para diversas ações, que vão desde o dimensionamento da irrigação até o manejo da água que será reposta às culturas. Sua estimativa pode ser realizada por meio de métodos indiretos; dentre eles destaca-se o modelo de Penman-Monteith - PM (Allen et al, 1998), recomendado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, pela sua capacidade ser utilizado em diversas regiões em diferentes escalas de tempo; para isso, segundo Ravazzani et al., (2012), são necessários os dados: umidade, radiação solar, temperatura e velocidade do vento.

De acordo com Barros et al. (2017), o modelo de PM exige uma estação meteorológica, para que a ETo seja estimada, com um grande número de equipamentos, tornando a aquisição oneroso e inviabilizando seu uso por uma parte dos produtores, em especial os pequenos e médios. Os autores ainda afirmam que a ETo pode ser estimada com

equipamentos mais simples, de menor custo, mas para isso deve-se adotar a equação desenvolvida por Hargreaves e Samani - HS (1985), cujas variáveis necessárias são apenas a temperatura máxima e a mínima.

Hargreaves e Samani - HS (1985) afirmam que a equação proposta pode ser utilizada na forma original ou com o mínimo de ajustes possível. Almorox e Griser (2016) calibraram a equação de HS para diferentes classes climáticas de Köppen ao redor do mundo e observaram que uma simples modificação nos coeficientes permite uma melhora na estimativa dos dados. Ravazzani et al (2012) utilizaram equações modificadas de HS fornecidas na literatura, no entanto, não foi constatada piora ou melhora na estimativa dos dados, para estimar a ETo na região dos Alpes.

Fernandes et al. (2012) observaram que os valores de HS com coeficientes corrigidos superestimavam o modelo padrão no estado de Goiás. Os autores ainda recomendam o uso do modelo de HS ajustado 'para estimar a ETo em local com

pouca disponibilidade de dados e informam da possibilidade da ETo estimada por HS no manejo da irrigação devido à facilidade de aquisição econômica e robustez de sensores que medem os valores de temperatura.

O estado de Alagoas possuirá um incremento de áreas irrigadas com a finalização das obras do canal do sertão, que contará com alguns perímetros irrigados com área total de 8643 ha (Seplag, 2017), demonstrando a necessidade do uso correto dos recursos hídricos. Além disso, o custo cada vez maior de energia de bombeamento e a limitação dos recursos hídricos têm levado à busca de alternativas que racionalizem o manejo da água, visando redução nos custos da irrigação (Pereira et al., 2002). São poucas as estações meteorológicas disponíveis no estado, tornando o uso da metodologia de HS atrativa.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo calibrar a equação de HS para diferentes cidades do estado de Alagoas em substituição da equação original e realizar parametrização local.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, em parceria com a Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. O estado de Alagoas possui uma área total de aproximadamente 27.778,506 km², com

variações das características climáticas dependendo da região. Segundo classificação de Köppen, toda a metade oriental do estado possui clima do tipo As, ou seja, tropical e quente, com precipitação pluviométrica de outono/inverno, entre 1000 mm a 1500 mm; porém, a parte do leste alagoano, próxima à divisa com o estado de Pernambuco, possui clima Ams, tropical com chuvas do outono ao inverno e médias pluviométricas anuais entre 1500 mm e 2200 mm. A metade ocidental do estado, que vai do agreste ao sertão, apresenta condições semiáridas, com clima BSh, isto é, seco e quente, com precipitação pluviométrica média anual, no sertão, entre 400 mm a 600 mm e, no agreste, de 600 mm a 900 mm (Embrapa, 2012).

Foram selecionadas 14 cidades distribuídas em território do estado, em especial as mais próximas ao canal do sertão, de onde foram obtidos os dados relativos às variáveis climatológicas de temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa do ar e radiação solar incidente, através do site: The National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Adotou-se a velocidade do vento como 2 m.s⁻¹ (Allen et al., 1998). A série de dados foi obtida dos anos de 2006 a 2013 e registrada em planilha eletrônica.

As referências de localização geográfica e valores médios diários de temperatura e umidade relativa, bem como a classificação climática, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Média de Dados Climatológicos por Cidade.

ID	ESTAÇÃO	LAT.	LONG.	ALT.	T _m °C	UR	Koppen
1	Igreja Nova	-10,1474	-36,5625	138m	25,84	74,67	As
2	São Braz	-10,1474	-36,875	49m	25,76	73,43	As
3	Arapiraca	-9,8352	-36,5625	235m	25,57	73,69	As
4	Girau do Ponciano	-9,8352	-36,875	386m	25,97	70,95	As
5	Major Isidoro	-9,5229	-36,875	329m	25,69	69,89	BS
6	O. d'água das Flores	-9,5229	-37,1875	222m	26,42	66,51	BS
7	Belo Monte	-9,8352	-37,1875	158m	26,38	68,44	BS
8	Canapi	-9,2107	-37,5	361m	26,41	63,90	BS
9	São José da Tapera	-9,5229	-37,5	255m	26,80	64,52	BS
10	O. d'água do Casado	-9,5229	-37,8125	483m	26,65	64,09	BS
11	Mata Grande	-9,2107	-37,8125	454m	26,36	63,60	As
12	Pariconha	-9,2107	-38,125	233m	26,34	62,70	BS
13	Igaci	-9,5229	-36,5625	404m	25,00	73,39	As
14	Coruripe	-10,1474	-36,25	37m	26,06	74,95	As

Utilizou-se o modelo Penman-Monteith (PM) como padrão, atendendo à recomendação da FAO, que informa a aplicabilidade do modelo para diferentes escalas de tempo e variação climática ao redor do mundo (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 \times U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (01)$$

Em que:

ET_o (PM) - evapotranspiração de referência pelo método de PM, em gramado, mm.d⁻¹;

R_n - radiação líquida, MJ.m⁻² d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ.m⁻² d⁻¹;

T - temperatura média do ar, °C;

V - velocidade média do vento a 2 m de altura, m.s⁻¹;

(e_s-e_a) - déficit de pressão de vapor, kPa;

Δ - curva de pressão de vapor, kPa.°C⁻¹;

γ - constante psicrométrica, kPa.°C⁻¹, e 900 - fator de conversão.

Utilizou-se o modelo de Hargreaves e Samani, proposto em 1985, onde se utiliza apenas os valores das temperaturas máxima, mínima e média do ar, além da radiação no topo da atmosfera para estimar ET_o.

$$ET_o = K1 \times \frac{Ra}{2,45} \times (T_{máx} - T_{mín})^{K2} \times (T_{méd} + K3) \quad (2)$$

Em que:

ET_o - Evapotranspiração, mm.dia⁻¹;

R_a - radiação no topo da atmosfera, MJ.m⁻² s⁻¹;

T_{máx} - temperatura máxima do ar,

°C;

T_{mín} - temperatura mínima do ar,

°C;

T_{média} - temperatura média do ar,

°C.

Os valores de k₁, k₂ e k₃ são os parâmetros de ajustes da equação original proposta por Hargreaves e Samani (1985). O valor de "k₁" corresponde a 0,0023, o de "k₂" a 0,5 e de "k₃" a 17,8. O ajuste dos parâmetros foi feito através da ferramenta *Solver* do Excel. A técnica para otimização assume que quanto menor for a soma dos desvios dos quadrados, mais perfeito será o ajuste dos parâmetros.

$$\sum_{i=1}^n (PM - HS)^2 = 0 \quad (3)$$

Em que:

PM - Evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, mm.dia⁻¹;

HS - Evapotranspiração de referência por Hargreaves e Samani, mm.dia⁻¹;

Apesar da recomendação do uso do modelo de HS para estimativa da ETO em escala, num período superior a 5 dias, adotou-se o ajuste para escala diária, justificado pelo uso que o modelo teria no manejo da irrigação.

A análise da qualidade das calibrações foi feita através do cálculo do erro-padrão de estimativa (EPE), do índice de “d” de Willmott (d), dos coeficientes de determinação (R²) e do coeficiente de confiança ou desempenho “c”, introduzidos por Camargo e Sentelhas (1997).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (4)$$

Tabela 2. Critério de interpretação do coeficiente de confiança.

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
<=0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, são vistos os coeficientes das regressões lineares normais (a e b) e forçadas pela origem (“a”), e os coeficientes de determinação da equação linear normal (R²) da equação de Peman-Monteith (PM) em relação à equação de Hargreaves-Samani Original (HS-O) e Hargreaves-Samani Calibrada (HS-C). Os ajustes das equações HS-O em relação ao modelo de PM foram altos (R²), com média superior a 88%, tendo como valor mínimo

Em que:

Pi - valor estimado;

Oi - valor observado;

N – número de dados.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum P_i - O_i^2}{\sum (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (5)$$

Em que:

Pi - valor estimado;

Oi - valor observado;

O - média dos valores observados.

$$c = r * d \quad (6)$$

Em que:

r - coeficiente de correlação;

d - índice de Willmott.

O índice “d” é descrito por Willmott et al. (1985) e seus valores variam entre zero (nenhuma concordância) e 1 (concordância perfeita); já o índice de desempenho “c” é descrito por Camargo e Sentelhas (1997).

71,94%, para a cidade de Coruripe e o máximo de 90,84%, para São José da Tapera.

Silva et al. (2018) realizaram avaliação do uso da equação de HS-O na cidade de Jaíba, com clima tropical chuvoso e encontraram ajuste de 65,39% entre a ETO estimada por PM e HS-O. Chagas et al. (2013) em trabalho semelhante na cidade de Rio Real, BA, com clima de classificação litorânea, encontraram ajuste de 51,96%. Arraes, et al. (2016) observaram R² de 0,792, para Recife e Petrolina, ambas em

PE, uma localizada no litoral, e outra no sertão.

Tabela 1. Coeficientes das regressões lineares normais, forçadas pela origem e coeficientes de determinação da equação linear normal.

Cidades	HS-O			HS- C				
	a	b	R ²	a''	a	b	R ²	a''
Arapiraca	0,752	1,453	0,888	1,035	0,902	0,401	0,886	0,980
Belo Monte	0,769	1,495	0,906	1,049	0,894	0,514	0,908	0,990
Canapi	0,796	1,362	0,906	1,047	0,899	0,505	0,908	0,991
Coruripe	0,675	1,229	0,719	0,918	0,814	0,846	0,828	0,981
Girau do Ponciano	0,761	1,495	0,906	1,045	0,882	0,558	0,902	0,988
Igaci	0,789	1,339	0,894	1,054	0,864	0,617	0,891	0,986
Igreja Nova	0,721	1,376	0,841	0,991	0,848	0,692	0,864	0,984
Major Isidoro	0,792	1,337	0,897	1,048	0,873	0,603	0,895	0,988
Mata Grande	0,772	1,481	0,905	1,046	0,898	0,484	0,908	0,990
O. d. das Flores	0,784	1,395	0,906	1,042	0,889	0,550	0,905	0,990
O. d. do Casado	0,782	1,434	0,908	1,045	0,901	0,483	0,911	0,991
Pariconha	0,771	1,448	0,896	1,039	0,892	0,531	0,899	0,990
São Braz	0,744	1,521	0,887	1,040	0,883	0,535	0,895	0,987
São J. da Tapera	0,789	1,403	0,908	1,044	0,902	0,507	0,911	0,991

Após a calibração espera-se que ocorra um melhor ajuste da equação e redução dos erros de estimativa da ETo. Com isso, foi possível observar que, após a calibração, houve aumento nos valores de ajuste na maioria das cidades, com exceção de Arapiraca, Girau do Ponciano, Major Isidoro, Olho d'água das Flores e Igaci. Apesar da redução, essa redução do R² foi inferior a 0,5%. As cidades com melhores ajustes, após a calibração, foram as cidades de Coruripe e Igreja Nova. Silva et al. (2018) tentaram aumentar o ajuste da equação de HS através dos valores da equação de regressão linear normal, porém não encontraram melhora nos valores de ajustes.

A Eto HS-O tende, em média, superestimar dados de PM em 4,38%, com exceção das cidades de Coruripe e Igreja Nova, com subestimativa de 0,91% e 8,22%, respectivamente. Este resultado já

era esperado já que o modelo de HS foi desenvolvido para regiões semiáridas. Corroborado por Chagas et al. (2013), que também obtiveram valores superestimados de HS-O em relação ao modelo de PM para a cidade de Rio Real (BA).

Arraes et al. (2016) informaram que a superestimativa do modelo tem relação com a umidade relativa do ar, indicando que há superestimativa do modelo em regiões com umidade relativa média acima de 70%. Este comportamento não acompanhou os resultados obtidos neste trabalho, em que foi observado que a superestimativa da ETo pelo modelo de HS-O em relação ao modelo padrão foi independente da umidade relativa.

Após a calibração observou-se que todas as cidades tenderam a subestimar os dados de PM, com a subestimativa de no

máximo 1,99% para Arapiraca e média de 1,22% para todas as cidades.

Os valores de erro padrão da estimativa (EPE), “d” de Willmott e “c” de confiabilidade podem ser vistos na Tabela 4. O EPE do modelo original foi em média 0,691mm.dia⁻¹, tendo as cidades de

Coruripe, Igreja Nova e São Braz os piores valores, respectivamente. O maior erro atribuído à cidade de Coruripe pode ter relação com o fato da sua localização litorânea, sendo este modelo menos eficiente, conforme descrito por Hargreaves e Samani (1985).

Tabela 2. Análise da qualidade das calibrações através do cálculo do erro-padrão de estimativa (EPE), o índice de “d” de Willmott (d), e no coeficiente de confiança ou desempenho “c”.

	EPE	EPE'	d	d'	C	c'	Desempenho
Arapiraca	0,7085	0,578	0,970	0,980	0,914	0,922	O/O
Belo Monte	0,6958	0,511	0,829	0,908	0,789	0,865	MB/O
Canapi	0,6379	0,487	0,980	0,988	0,933	0,941	O/O
Coruripe	0,8781	0,659	0,695	0,827	0,589	0,753	S/B
G. do Ponciano	0,7089	0,535	0,972	0,984	0,922	0,934	O/O
Igaci	0,7040	0,552	0,970	0,981	0,917	0,926	O/O
Igreja Nova	0,7104	0,614	0,970	0,977	0,889	0,909	O/O
Major Isidoro	0,6700	0,535	0,975	0,984	0,924	0,931	O/O
Mata Grande	0,6714	0,497	0,977	0,987	0,930	0,941	O/O
O. d. das Flores	0,6421	0,502	0,979	0,987	0,932	0,939	O/O
O. d. do Casado	0,6506	0,487	0,979	0,988	0,933	0,943	O/O
Pariconha	0,6519	0,512	0,979	0,987	0,926	0,935	O/O
São Braz	0,7277	0,551	0,968	0,982	0,909	0,929	O/O
S. Js. da Tapera	0,6436	0,490	0,980	0,988	0,934	0,943	O/O

*Os itens com apóstrofo (') indicam os valores obtidos após calibração dos parâmetros da equação de HS

**Classificação desempenho (O – Ótimo; MB – Muito Bom; B – Bom; S - Sofrível)

Este comportamento pode ser visto em Chagas et al. (2013) e Venancio et al. (2019), em estudo do modelo de HS para cidades em clima litorâneo. Chagas et al. (2013) encontrou valores de EPE para período seco que variaram de 0,52 - 0,72 mm.dia⁻¹ no período seco e de 0,77 - 0,88 mm no período úmido e Venancio et al. (2019) encontraram erro de 0,75 - 1,0 mm.dia⁻¹ para diferentes épocas do ano.

Os baixos valores de erro - EPE, ainda no modelo padrão, demonstram o potencial de uso da ferramenta como alternativa ao modelo Eto - PM quando não ocorrer a disponibilidade de dados. Discordando de Pereira et al. (1997) que informam que métodos simplificados não são indicados para períodos de estimativa maior que um dia e sim períodos mensais.

A Eto HS torna possível o manejo da irrigação com equipamentos de baixo custo e de fácil acesso, como os sensores de temperatura. Fernandes et al. (2012) informam que, além do manejo da irrigação, é possível realizar um melhor planejamento dos recursos hídricos através da estimativa da Eto com séries históricas. Venancio et al. (2019) informam que apesar dos erros obtidos pelo modelo de HS, a determinação da ETo em escala diária é importante para estudos de mudanças climáticas e para dimensionamento de sistemas de irrigação.

Almorox e Griser (2016) avaliando a performance do modelo de HS-O em 12 diferentes regiões climáticas ao redor do mundo, encontrou que para a classificação de Koppen As e Bs os erros foram em média

de 0,872 e 0,893 mm.dia⁻¹, valores maiores dos que encontrados nestes trabalhos.

Após a calibração, a cidade de Belo Monte, com 26,56%, foi a que obteve maior redução do EPE e a cidade com menor redução foi Igreja Nova com 13,48%, demonstrando bons resultados. Em diversos trabalhos da literatura, é possível comprovar a melhora dos resultados com a parametrização dos parâmetros, para cidades de clima semiárido, a redução é menor. Almorox e Griser (2016) obtiveram como melhores resultados, as reduções do EPE nas porcentagens de 31,88% e 1,34% para as cidades de classificação de Koppen de As e BS, respectivamente.

Macêdo et al. (2017) calibrando os parâmetros da equação de HS para a cidade de Maceió, de clima litorâneo, encontraram redução do erro em 17,54% com o ajuste de três variáveis do modelo (k1, k2 e k3).

A avaliação do índice de qualidade das estimativas através dos valores de “d” de Willmot indicam que mesmo antes da calibração a maioria das cidades já possuíam índices próximos a 1, com exceção de Belo Monte e Coruripe. E após a calibração foi possível a melhora no índice “d” em todas as cidades. A cidade de São José da Tapera atingiu o maior valor de “d” (0,9888) e a cidade de Coruripe o menor (0,8279).

Os valores “c” foram classificados como “ótimo” antes da simulação para a maioria das cidades, demonstrando o potencial do uso do modelo mesmo sem a calibração para as cidades estudadas. As cidades que não foram classificadas como “ótimo” foram Belo Monte (muito bom) e Coruripe (sofrível), após calibração, apenas a cidade de Coruripe apresentou classificação “bom”, o restante das cidades obtiveram classificação “ótimo”.

Os valores dos parâmetros k1, k2 e k3, podem ser vistos na Tabela 5. Autores como Arraes et al. (2016) e Macêdo et al. (2017) utilizaram a mesma metodologia proposta por Wraith e Or (1998), para ajuste de equação linear. Barros et al. (2017), concluiu que o melhor resultado foi observado ao se utilizar o ajuste dos três parâmetros.

O valor do coeficiente “k1” corrigido para as cidades selecionadas do Estado de Alagoas variaram de 0,002659 a 0,013552. As cidades de Coruripe e Igreja Nova apresentaram o valor mais discrepante em relação a equação original (k1 original = 0,0023) 0,013552 e 0,007516 respectivamente. Para Arraes, et al. (2016) em estudo realizado para diversas cidades de Pernambuco, o valor de “k1” encontrado variaram de 0,00068 até 0,00241.

Tabela 5. Valores dos coeficientes ajustados para a equação de Hargreaves-Samani, ajustados através do Solver, para diversas cidades do estado de Alagoas.

Cidades	k1	k2	k3
Arapiraca	0,004344	0,532201	-6,056
Belo Monte	0,003202	0,609479	-4,382
Canapi	0,002742	0,614307	-0,812
Coruripe	0,013552	0,287915	-13,81
G. do Ponciano	0,003408	0,593598	-4,608
Igaci	0,003507	0,547011	-2,288
Igreja Nova	0,007516	0,430677	-10,81
Major Isidoro	0,003033	0,578141	-0,732
Mata Grande	0,002780	0,642025	-2,966
Olho d. das Flores	0,002864	0,605679	-1,220
Olho d. Casado	0,002981	0,617031	-3,168
Pariconha	0,002659	0,638314	-1,356
São Braz	0,003992	0,588707	-7,339
São José da Tapera	0,003263	0,585528	-0,435

A grande variabilidade dos parâmetros torna impossível a padronização dos valores dos parâmetros, demonstrando a necessidade de calibrações locais. Apesar disso, Arraes, et al. (2016) tentaram correlacionar os valores de calibração com a similaridade das características climáticas de umidade do ar e velocidade do vento. Almorox e Grieser (2016) em estudo para as diversas características climáticas do mundo observaram grande variação dos parâmetros k1 para as regiões de clima As e baixa variação para regiões de clima Bs.

Os valores do expoente “k2” corrigido, variaram de 0,287915 até 0,642025. Segundo Ravazanni et al. (2012) o parâmetro “k3” originalmente era utilizado para converter a temperatura de Fahrenheit para Celsius ($32/1,8=17,8$), no entanto, este parâmetro foi utilizado para o ajuste da equação. Todos os valores de “k3” deste trabalho obtiveram valores negativos. Macêdo et al. (2017) em ajuste para a cidade de Maceió, encontrou coeficiente “k3” igual a zero. Barros et al. (2017) em ajuste no perímetro irrigado Jacaré-Curituba, Canindé-SE, também encontraram valores negativos para o parâmetro “k3”.

Almorox e Griser (2016) fizeram calibração dos fatores k1 e k2 e adicionaram o fator k4, somado a equação original como forma de não modificar o fator k3 e observaram que estes valores (k3) para as cidades de classificação Köppen As e BS possuíam valores negativos.

6 CONCLUSÃO

O modelo de HS-O superestima a ETo para maioria das cidades, em média 4,39%, com exceção de Coruripe com superestimativa de 8,2 % e Igreja Nova com 0,91%.

O modelo de HS-C permitiu a redução do erro das estimativas em média 22,47%.

A equação da HS, ajustada ou não, é uma alternativa à estimativa da ETo em escala diária para as cidades avaliadas no Estado de Alagoas.

A cidade de Coruripe, com característica litorânea, apresentou maior variação dos coeficientes originais após calibração.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper 56**. p. 300, 1998.
- ALMOROX, J.; GRIESER, J. Calibration of the Hargreaves-Samani method for the calculation of reference evapotranspiration in different Köppen climate classes. **Hydrology Research**, London. 47 (2), 521–531, 2016.
- ARRAES, F. D. D. LIMA JUNIOR, J. C. OLIVEIRA, J. B. MACÊDO, K. G. COURAS, Y. S. OLIVEIRA, W. C. Parametrização da equação de Hargreaves-Samani para o estado do Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 410–419, 2016.
- BARROS, A. C., SILVA, C. S. de O., NETTO, A. de O. A. Ajuste dos parâmetros da equação Hargreaves-Samani em escala diária para o perímetro irrigado Jacaré-Curitiba, Canindé-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, nº. 8, p. 2152 - 2161, 2017.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) no município de Rio Real-BA. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 211. Barros, A. H. C., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B., Santiago, G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas / Dados eletrônicos. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p.; il. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 211) Recife, PE 2012.
- FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ, R. L. F., AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.2, p.246-255, 2012.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- MACÊDO, K. A.; ARRAES, F. D. D. ; LIMA JUNIOR, J. C. ; OLIVEIRA, W.C. ; ARAUJO, Y. R.; Ajuste dos parâmetros do modelo de Hargreaves E Samani para estimativa da evapotranspiração de referência em escala diária para Maceió-AL. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, nº.3, p. 1484 - 1491, 2017.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba. Ed. Agropecuária, 2002.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

RAVAZZANI, G.; CORBARI, C.; MORELLA, S.; GIANOLI, P.; MANCINI, M. Modified HS equation for the assessment of reference evapotranspiration in Alpine river basins. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**. Reston. ASCE 137 (7), 592–599, 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, GESTÃO E PATRIMÔNIO - SEPLAG. **Estudo sobre o canal do sertão/Alagoas**. Maceió, SEPLAG, 2017. 32p.

SILVA, G. H.; DIAS, S. H. B.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, J. E. O.; CUNHA, F. F. Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v.22, n.2, p.83-89, 2018.

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; EUGENIO, F. C.; ALEMAN, C. C. Penman-Monteith with missing data and Hargreaves-Samani for ETo estimation in Espírito Santo state, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 23, n. 3, p. 153-159, 2019.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, New Jersey, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

WRAITH, J. M.; OR, D. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. **Journal of Natural Resources and Life Sciences Education**, Madison, v. 27, n. 1, p. 13-19, 1998.