

# ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE HARGREAVES E PENMAN-MONTEITH PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL: UM ESTUDO DE CASO

Ticiania M. de Carvalho Studart<sup>1</sup> e José Nilson B. Campos<sup>1</sup>

**Resumo** – No presente trabalho apresenta-se um estudo comparativo entre duas metodologias para a estimativa da evapotranspiração potencial em dois municípios do Vale do Jaguaribe, Ceará. A primeira, proposta por Hargreaves, é largamente utilizado no Nordeste Brasileiro. A segunda, denominado Penman-Monteith, é a recomendada pela FAO para estudos desta natureza, devido ao seu excelente desempenho sob várias condições climáticas. Os resultados mostram, no entanto, que, para os municípios estudados, as diferenças entre os valores da evapotranspiração potencial estimada pelas duas metodologias são mínimas – cerca de 5% para Jaguaruana e 2% para Morada Nova.

**Abstract** - This paper intends to evaluate two methodologies for potential evapotranspiration estimation in two counties in Jaguaribe Valley, Ceará. The first one, proposed by Hargreaves, is largely used in Northeast Brazil. The other one, the so-called Penman-Monteith, is the one which had reached unanimous agreement in FAO consultant meeting, because its best-performing equation under varying climatic conditions. This paper shows that, for the studied counties, there are not too much difference on their results – about 5% for Jaguaruana and 2% for Morada Nova.

**Palavras-Chave** – evapotranspiração, Hargreaves, Penman-Monteith

## INTRODUÇÃO

Muitas equações e métodos têm sido desenvolvidos para a estimativa da evapotranspiração potencial. Há aqueles que estimam a Etp a partir da **radiação solar**, outros utilizam dados de **temperatura**, ou dados de **evaporação** medida no tanque Classe A. Os métodos baseados no trabalho original de Penman (1948), os quais utilizam dados de temperatura, umidade, radiação solar e vento, são denominados **métodos combinados**.

(1) Professores do Departamento de Eng<sup>a</sup>. Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici - Centro de Tecnologia - Bloco 713 - Fortaleza – Ceará – Brasil - CEP 60.451-970 - Fone: (085) 288.9623 - Fax: (085) 288.9627 - e-mail: nilson@ufc.br e ticiania@ufc.br

Dentre os métodos que utilizam dados de temperatura, se destaca o de Hargreaves (1974), pela larga utilização em projetos de irrigação no Nordeste Brasileiro. Tal aceitação se deve ao fato do autor, em estudo financiado pelo então Ministério da Agricultura, ter estimado a evapotranspiração potencial em 152 localidades, em 10 estados nordestinos, e os resultados encontrarem-se facilmente disponíveis em tabelas.

Recentemente, entretanto, tem havido um consenso em torno da utilização de uma outra metodologia – a de Penman-Monteith – para a estimativa da Etp em todo o mundo. Esta unanimidade se deve aos estudos efetuados por pesquisadores ligados à área de irrigação durante o "Expert Consultant on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements", realizado em Roma, em 1990. Tal fórum teve como objetivo a avaliação das várias metodologias existentes e revisão da publicação FAO nº24, publicada nos anos 70, considerada até então, referência internacional. O resultado deste encontro foi a recomendação do método combinado de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração potencial, por sua melhor performance sob várias condições climáticas.

Souza (1998) fez um estudo comparativo entre os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves e Thornthwaite em sete municípios do Estado do Ceará. Para esta análise, utilizou os resultados tabelados por Hargreaves, e comparou com os obtidos através da utilização da equação de Penman-Monteith utilizando dados disponíveis no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e aqueles contidos no PERH, utilizando o Método de Thornthwaite. Sua conclusão, no que diz respeito aos métodos de Hargreaves e Penman-Monteith, é que o primeiro subestima a evapotranspiração entre 3 a 23% em relação ao segundo.

O presente trabalho procura analisar novamente os dois métodos, utilizando para tanto, dados das “ Normais Climatológicas”, aplicados às equações de ambos.

## **A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL SEGUNDO HARGREAVES**

O Método de Hargreaves tem sido comumente utilizado no Nordeste Brasileiro para o cálculo da Evapotranspiração Potencial. De fácil utilização, o método fornece a Etp em função da temperatura média compensada, da umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado, conforme equação (1):

$$ETP = F \cdot (100 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8T_{comp}) \quad (1)$$

onde:

F = Fator dependente da latitude (adimensional)

T<sub>comp</sub> = Temperatura média compensada em °C

U = Umidade relativa do ar (%)

## A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL SEGUNDO PENMAN-MONTEITH

O Método de Penman-Monteith é baseado no efeito combinado do transporte convectivo das massas de ar e da radiação líquida, conforme equação (2).

$$\lambda_e \cdot ET_{pot} = \frac{\Delta_{vap}(R_n - G) + \rho_{ar} \cdot c_p \left( \frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{\Delta_{vap} + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (2)$$

onde:

$$\lambda_e = (2501 - 2,36 T_{ar}) \cdot 1000 \frac{J}{Kg \cdot K} \quad (3)$$

se T<sub>ar</sub> > 0

$$e_s = 6,19780 \cdot \exp(17,08085 \cdot \frac{T_{ar}}{(234,174 + T_{ar})}) \quad (4)$$

se T<sub>ar</sub> ≤ 0

$$e_s = 6,10714 \cdot \exp(22,44294 \cdot \frac{T_{ar}}{(272,44 + T_{ar})}) \quad (5)$$

onde ET<sub>pot</sub> - evapotranspiração potencial, λ<sub>e</sub> - entalpia da evaporação da água, Δ<sub>vap</sub> - curva que descreve a pressão de saturação do vapor d'água, e<sub>a</sub> - pressão de saturação do vapor, γ - constante do psicrômetro, r<sub>s</sub> - bulk resistance resistance, r<sub>a</sub> - resistência aerodinâmica, R<sub>n</sub> - balanço de radiação, G - fluxo de calor através do solo e T<sub>ar</sub> - a temperatura do ar (°C).

## METODOLOGIA

Selecionou-se, para o estudo comparativo, duas estações climatológicas no Vale do Jaguaribe – Jaguaruana e Morada Nova - cujas características encontram-se na Tabela 1. Tais estações também foram analisadas por Souza (1998), de modo que podem ser efetuadas comparações entre os resultados obtidos em ambos os trabalhos.

Para que se determine a evapotranspiração potencial pelo método de Hargreaves, há que se calcular a temperatura média compensada e umidade relativa; no caso da metodologia proposta por Penman-Monteith, além da umidade relativa, há que se determinar as temperaturas máximas e mínimas, insolação e velocidade do vento. Somente a nível de comparação também será estimada a evapotranspiração a partir da evaporação no Tanque Classe A .

Tabela 1 - Características das Estações Climatológicas

Estação	Código	Coordenadas		Altitude	Fonte	Período de Operação
		Latitude	Longitude			
Jaguaruana	82493	4° 47'	37° 36'	11,71m	NC	1970 - 1989
Morada Nova	82588	06° 05'	39° 23'	43,62m	NC	1961 - 1990

Fontes: INEMET(1992)

## Dados Utilizados

É prática corrente no Estado do Ceará, a utilização dos dados contidos no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) em estudos desta natureza. Entretanto há que se considerar que as séries históricas dos vários parâmetros climatológicos contidas no PERH são relativamente pequenas. Uma alternativa ao uso dos mesmos é a utilização das Normais Climatológicas 1961 a 1990, publicadas pelo INEMET, em 1992.

Não obstante a publicação do INEMET apresente séries mais longas que as do PERH, há que se considerar que os parâmetros meteorológicos apresentados pelas duas fontes não são rigorosamente os mesmos; desta feita, este estudo calculará, para cada estação, os parâmetros meteorológicos - temperatura, umidade relativa, insolação, ventos, evaporação do tanque Classe A e evapotranspiração, considerando, quando da duplicidade de informação, a série mais longa, qual seja, das Normais Climatológicas. No caso da inexistência da informação por esta fonte, recorrer-se-á ao PERH.

## Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas nas estações meteorológicas  $T_{12}$  e  $T_{24}$  TMG,  $T_{MAX}$  e  $T_{MIN}$  do dia, pela equação (6), estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) :

$$T_{comp} = \frac{T_{12} + 2.T_{24} + T_{MAX} + T_{MIN}}{5} \quad (6)$$

onde:  $T_{comp}$  - Temperatura média compensada,  $T_{12}$  - Temperatura observada às 12:00 TMG,  $T_{24}$  - Temperatura observada às 24:00 TMG,  $T_{MAX}$  - Temperatura máxima do dia e  $T_{MIN}$  - Temperatura mínima do dia.

A seguir são apresentadas, nas tabelas 2 e 3, os valores de temperaturas máximas, mínimas e compensadas para cada duas estações.

Tabela 2- Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Jaguaruana (1970 - 1989)

Temperatura	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Média
Compensada	27,9	24,0	26,9	26,9	25,2	26,1	26,0	26,4	27,3	27,5	28,1	26,0	26,5
Máxima	33,8	32,9	29,4	31,8	32,0	31,5	32,0	33,2	34,0	34,1	34,0	33,7	32,7
Mínima	23,7	23,5	23,5	23,4	22,9	21,8	21,2	21,1	21,8	22,6	23,8	23,5	22,7

Fonte: INEMET (1992)

Tabela 3- Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Morada Nova (1961 - 1990)

Temperatura	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Média
Compensada	26,9	27,3	26,7	26,6	26,7	26,0	26,0	26,6	27,6	27,9	28,4	28,3	27,1
Máxima	35,1	33,8	32,3	31,9	31,9	31,8	32,6	34,2	35,3	36,1	34,5	35,7	33,8
Mínima	22,3	23,5	23,0	21,8	22,6	21,4	20,8	20,6	21,4	22,1	20,8	22,9	21,9

Fonte: INEMET (1992)

## Umidade Relativa

As variações mensais estão intimamente relacionadas às irregularidades temporais do regime pluviométrico. Os meses com índices pluviométricos mais elevados - trimestre março/abril e maio - correspondem aos meses com taxas de umidade mais altas ( próximo a 80%). O período menos úmido, em termos gerais, se situa no segundo semestre do ano, nos meses de agosto a novembro, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Umidade Relativa nas estações de Jaguaruana (1970 - 1989) e Morada Nova (1961 - 1990) (em %)

<b>Estação</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Média</b>
Jaguaruana	71	75	82	82	79	77	74	68	68	67	68	69	73,3
M. Nova	65,8	72	80,3	79,5	75	73,7	67,6	61,4	57,5	58	58,3	61,4	67,5

Fonte: INEMET (1992).

### **Insolação Média**

A Tabela 5 mostra o número médio de horas de exposição ao sol, e sua distribuição mensal, nas estações meteorológicas de Jaguaruana e Morada Nova. Em escala anual, a insolação nas duas estações se situa em torno de 2.900 horas, sendo os meses de menor insolação àqueles correspondentes ao período chuvoso, devido à presença de nebulosidade.

Tabela 5 - Insolação Média nas estações de Jaguaruana (1970 - 1989) e Morada Nova (1961 - 1990) (em horas)

<b>Estação</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Total</b>
Jaguaruana	255,3	194,4	180,4	198,9	220,7	221,5	236,9	280,5	268,2	296,8	271,5	275,1	2800,2
M.Nova	232,6	203,1	206,3	197,9	233,5	248,9	259,0	279,9	282,7	297,0	279,2	262,7	2982,6

Fonte: INEMET (1992).

### **Ventos**

Os dados de ventos - velocidade e direção - não estão disponibilizados na publicação das Normais Climatológicas - 1961 a 1990. Desta forma usar-se-ão as informações contidas no PERH. Os valores de velocidade dos ventos que sopram nas duas estações, conforme pode ser visto na Tabela 6, são de uma maneira geral e ao longo do ano, considerados moderados, variando de 2,2 a 5,0m/s.

Tabela 6 – Velocidade dos Ventos nas estações de Jaguaruana (1979 - 1988) e Morada Nova (1978 - 1987) (em m/s)

Estação	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Média
Jaguaruana	4,1	3,5	2,7	2,5	2,6	2,8	3,3	3,9	4,7	5,1	5,0	4,6	3,73
M. Nova	3,5	2,8	2,4	2,2	2,4	2,7	3,0	3,5	3,9	4,0	4,1	4,0	3,21

Fonte: Ceará (1992).

### Evaporação Média

Os dados referentes à evaporação no Tanque Classe A foram retirados do PERH, uma vez que este parâmetro, nas “Normais Climatológicas” foi medido pelo atmômetro de Piche.

As duas estações caracterizam-se por altas taxas de evaporação, o que acarreta perdas significativas das reservas acumuladas e contribuem para o deficit hídrico na bacia. A evaporação anual média observada em cada localidade foi de 2.141mm e 2.476mm, em Jaguaruana e Morada Nova, respectivamente, distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 7 e Figura 1. O período de estiagem - julho a dezembro - responde por cerca de 60% do total evaporado anualmente, sendo os meses de setembro e outubro os mais críticos.

Tabela 7 - Evaporação Média nas estações de Jaguaruana (1979 - 1988) e Morada Nova (1978 - 1987) – Tanque Classe A (mm)

Estação	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Jaguaruana	198	148	97	115	118	148	175	216	235	249	231	211	2141
M. Nova	224	177	122	105	122	150	194	261	305	281	272	263	2476

Fonte: Ceará, 1992.

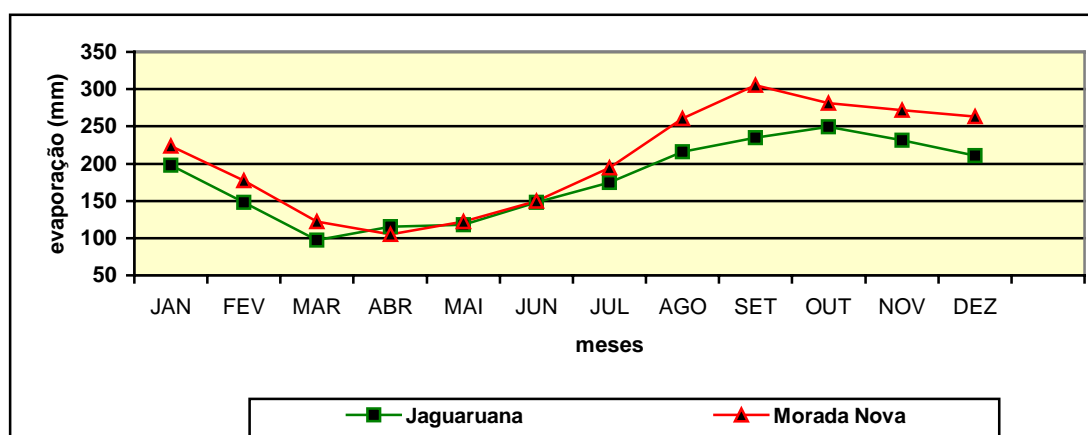


Figura 1 – Evaporação Média nas estações de Jaguaruana e Morada Nova – Tanque Classe A (em mm). Fonte: Ceará (1992)

## RESULTADOS

Para estimar a ETP utilizaram-se três métodos: a fórmula de Hargreaves, a fórmula de Penman-Monteith e fórmula de correlação com a evaporação do tanque classe A, com fatores de Doorenbos e Pruitt. São ainda disponibilizados os resultados tabelados por Hargreaves (1974).

### Etp segundo Hargreaves

A estimativa da evapotranspiração para as cidades de Jaguaruana e Morada Nova, através da Equação e das tabelas de Hargreaves encontram-se apresentadas na Tabela 8.

### Etp segundo Penman-Monteith

Pela complexidade dos cálculos envolvidos, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) desenvolveu um software, chamado CROPWAT, o qual entre outras coisas, calcula a evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, tendo como entrada apenas as temperaturas máximas e mínimas mensais (ou temperaturas médias mensais), umidade relativa, insolação e velocidade do vento (figuras 2 e 3). Os resultados encontram-se na Tabela 10.

Tabela 8 - Evapotranspiração Potencial Média Mensal nas estações de Jaguaruana e Morada Nova (mm) pelo Método de Hargreaves, calculada pela fórmula e tabelado por Hargreaves (1974)

Meses	Jaguaruana		Morada Nova	
	Tabela <sup>1</sup>	Equação <sup>2</sup>	Tabela	Equação <sup>2</sup>
Jan	174,0	167,9	189,0	181,8
Fev	146,0	129,5	150,0	149,6
Mar	132,0	127,35	135,0	132,7
Abr	112,0	115,5	126,0	120,9
Mai	135,0	113,9	120,0	125,8
Jun	119,0	112,6	117,0	125,8
Jul	135,0	125,5	142,0	136,5
Ago	167,0	151,9	172,0	164,9
Set	176,0	162,2	183,0	187,3
Out	184,0	177,8	201,0	203,9
Nov	177,0	172,1	196,0	201,1
Dez	189,0	165,6	202,0	198,8
<b>TOTAL</b>	<b>1846,0</b>	<b>1721,8</b>	<b>1933,0</b>	<b>1929,1</b>

Fonte: (1) Hargreaves (1974) (2) INEMET

Os valores da evapotranspiração potencial mensal contidas na Tabela 9 foram obtidos com a utilização do software CROPWAT da FAO. Quanto aos dados de entrada para estas duas estações, foram utilizadas as temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa e insolação das Normais Climatológicas (INEMET, 1992); entretanto, os dados relativos às velocidades dos ventos foram retirados do PERH (Ceará, 1992), uma vez que não se encontram disponibilizados na publicação no INEMET.



Tabela 9 - Evapotranspiração Potencial Média nas estações de Jaguaruana e Morada Nova (mm) pelo método de Penman-Monteith

Meses	Jaguaruana <sup>1</sup>	Morada Nova <sup>2</sup>
Jan	175,15	172,05
Fev	125,12	141,96
Mar	127,72	134,23
Abr	122,70	122,4
Mai	119,66	130,2
Jun	102,30	125,7
Jul	134,23	143,84
Ago	168,64	174,84
Set	178,20	197,7
Out	201,5	212,04
Nov	187,8	206,7
Dez	177,32	198,71
<b>TOTAL</b>	<b>1820,34</b>	<b>1960,37</b>

Fonte: (1) 1970 a 1989 (2) 1961 a 1990

#### ETP - segundo Correlação com a Evaporação do Tanque Classe A

A evaporação medida no tanque Classe A ( $E_t$ ) pode ser relacionada com a evapotranspiração da cultura de referência ( $ET_0$ ) mediante a equação (7):

$$ET_0 = E_t \times K_p \quad (7)$$

O coeficiente  $K_p$ , denominado coeficiente do tanque, depende do meio que circunda o tanque e das condições atmosféricas locais – umidade relativa e velocidade do vento. Os valores de  $K_p$  encontram-se na Tabela 10. Na Tabela 11 apresenta-se os valores da evapotranspiração da cultura de referência para Jaguaruana e Morada Nova, obtidos pelo produto da Evaporação do Tanque Classe A nas referidas estações pelo coeficiente  $K_p$ , escolhido em função da umidade e da velocidade do vento .

Tabela 10 – Valores do coeficiente  $K_p$  do Tanque Classe A , instalado em área cultivada com vegetação baixa, para diferentes níveis de umidade relativa e velocidade do vento

Vento	Tamanho da	Umidade Relativa (%)
-------	------------	----------------------

(km/dia)	bordadura (m)	< 40	40 - 70	> 70
<b>Leve</b> < 175	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
<b>Moderado</b> 175 - 425	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
<b>Forte</b> 425 - 700	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
<b>Muito Forte</b> > 700	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1976)

Tabela 11 – Evapotranspiração média da cultura de referência ( $ET_0$ ) nas estações de Jaguaruana e Morada Nova (em mm)

Meses	Jaguaruana	Morada Nova
Jan	158,4	168,0
Fev	118,4	132,8
Mar	77,6	91,5
Abr	92,0	78,7
Mai	94,4	91,5
Jun	118,4	112,5
Jul	140,0	145,5
Ago	162,0	195,8
Set	176,3	228,7
Out	161,8	210,7
Nov	150,2	204,0
Dez	158,2	197,3
<b>TOTAL</b>	<b>1607,7</b>	<b>1857,0</b>

Para efeito comparativo são mostrados nas figuras 2 e 3 e tabelas 12 e 13 os valores da evapotranspiração potencial, para cada estação, calculados pelos três métodos.

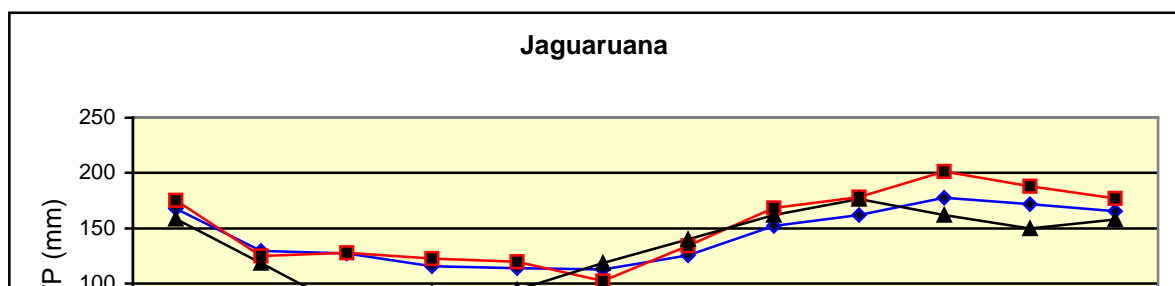


Figura 2 – Evapotranspiração Potencial pelos métodos de Hargreaves, Penman-Monteith e Tanque Classe A em Jaguaruana

Tabela 12 – Evapotranspiração Potencial pelos métodos de Hargreaves (equação e tabela), Penman-Monteith e Tanque Classe A e desvios em relação a Penman-Monteith em Jaguaruana

Mês	Penman-Monteith	Hargreaves (Equação)		Hargreaves (Tabela)		Tanque Classe A	
		Etp (mm)	Desvio (%)	Etp (mm)	Desvio (%)	Etp (mm)	Desvio (%)
JAN	175,2	167,9	-4,1	174,0	-0,7	158,4	-9,6
FEV	125,1	129,5	3,5	146,0	16,7	118,4	-5,4
MAR	127,7	127,4	-0,3	132,0	3,4	77,6	-39,2
ABR	122,7	115,5	-5,9	112,0	-8,7	92,0	-25,0
MAI	119,7	114,0	-4,7	135,0	12,8	94,4	-21,1
JUN	102,3	112,6	10,0	119,0	16,3	118,4	15,7
JUL	134,2	125,5	-6,5	135,0	0,6	140,0	4,3
AGO	168,6	152,0	-9,9	167,0	-1,0	162,0	-3,9
SET	178,2	162,2	-9,0	176,0	-1,2	176,3	-1,1
OUT	201,5	177,9	-11,7	184,0	-8,7	161,9	-19,7
NOV	187,8	172,1	-8,4	177,0	-5,8	150,2	-20,0
DEZ	177,3	165,6	-6,6	189,0	6,6	158,3	-10,8
<b>TOTAL</b>	<b>1820,3</b>	<b>1722,1</b>	<b>-5,4</b>	<b>1846,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1607,7</b>	<b>-11,7</b>

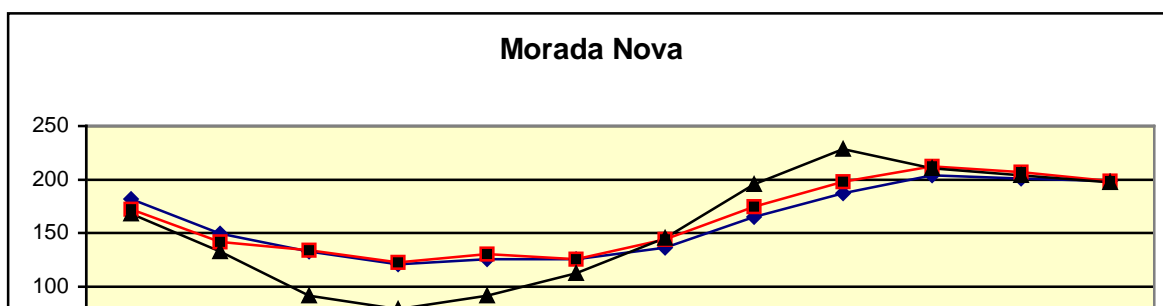


Figura 3 – Evapotranspiração Potencial pelos métodos de Hargreaves, Penman-Monteith e Tanque Classe A em Morada Nova

Tabela 13 – Evapotranspiração Potencial pelos métodos de Hargreaves (equação e tabela), Penman-Monteith e Tanque Classe A e desvios em relação a Penman-Monteith em Morada Nova

Mês	Penman-Monteith	Hargreaves (Equação)		Hargreaves (Tabela)		Tanque Classe A	
		Etp (mm)	Desvio (%)	Etp (mm)	Desvio (%)	Etp (mm)	Desvio (%)
JAN	172,1	181,8	5,7	189,0	9,9	168,0	-2,4
FEV	142,0	149,6	5,4	150,0	5,7	132,8	-6,5
MAR	134,2	132,7	-1,2	135,0	0,6	91,5	-31,8
ABR	122,4	121,0	-1,2	126,0	2,9	78,8	-35,7
MAI	130,2	125,8	-3,4	120,0	-7,8	91,5	-29,7
JUN	125,7	125,8	0,1	117,0	-6,9	112,5	-10,5
JUL	143,8	136,5	-5,1	142,0	-1,3	145,5	1,2
AGO	174,8	164,9	-5,7	172,0	-1,6	195,8	12,0
SET	197,7	187,3	-5,3	183,0	-7,4	228,8	15,7
OUT	212,0	203,9	-3,8	201,0	-5,2	210,8	-0,6
NOV	206,7	201,1	-2,7	196,0	-5,2	204,0	-1,3
DEZ	198,7	198,8	0,1	202,0	1,7	197,3	-0,7
<b>TOTAL</b>	<b>1960,4</b>	<b>1929,1</b>	<b>-1,6</b>	<b>1933,0</b>	<b>-1,4</b>	<b>1857,0</b>	<b>-5,3</b>

As tabelas 12 e 13 apresentam ainda o desvio do Método de Hargreaves (equação e tabelado) e do Tanque Classe A em relação ao Método de Penman-Monteith. O desvio é dado pela equação (8).

$$\text{Desvio (\%)} = ((\text{Etp}^* - \text{Etp (PM)}) / \text{Etp (PM)}) \times 100 \quad (8)$$

onde: Etp (PM) – evapotranspiração estimada pelo Método de Penman-Monteith e Etp\* - evapotranspiração estimada pelo método analisado.

A Tabela 14 mostra o resumo, em termos anuais, do desempenho dos métodos de Hargreaves (equação e tabelado) e Tanque Classe A em relação ao de Penman-Monteith. Foi incluída ainda a Etp calculada pelo Método de Thornthwaite para as duas estações, uma vez que este método foi o adotado no PERH.

Como pode ser observado, os valores encontrados pelo Método de Hargreaves, tanto pela equação, usando os dados das Normais Climatológicas, quanto os tabelados em 1974, são bem próximos aos obtidos com o Método de Penman-Monteith. Para a estação de Jaguaruana, a equação de Hargreaves subestimou a evapotranspiração em 5,4% e a tabela de Hargreaves superestimou a mesma em 1,4%. O Tanque Classe A subestimou a evapotranspiração, em relação a Penman-Monteith em cerca de 12%, e o de Thornthwaite, em cerca de 5%.

As melhores performances dos dois primeiros métodos foram obtidas para a estação de Morada Nova. Os resultados do Método de Hargreaves, tanto pela equação como pela tabela, ficaram menores que os de Penman-Monteith em valores percentuais inferiores a 2%. Até mesmo o Tanque Classe A apresentou desvio inferiores – 5,3%. A nível mensal, esta estação também apresentou resultados muito próximos entre si para os métodos de Hargreaves e Penman-Monteith. O Método de Thornthwaite, no entanto, foi o que apresentou o pior desempenho, com o desvio em relação ao Penman-Monteith de quase 13%.

Tabela 14 – Etp anual média estimada pelos métodos de Hargreaves, Tanque Classe A, Thornthwaite e Penman-Monteith e desvios em relação a Penman-Monteith

Estação	Hargreaves				Tanque Classe A		Thornthwaite <sup>2</sup>		Penman-Monteith
	Tabelado <sup>1</sup>		Equação		Etp	Desvio	Etp	Desvio	Etp
	Etp	Desvio	Etp	Desvio					
Jaguaruana	1846,0	1,4 %	1722,1	-5,4 %	1607,7	-11,7 %	1737,0	-4,6 %	1820,3
M. Nova	1933,0	-1,4 %	1929,1	-1,6 %	1857,0	-5,3 %	1714,0	-12,6%	1960,4

Fonte: (1) Hargreaves (1974) (2) Ceará (1992)

## CONCLUSÕES

Ao analisar-se o desempenho dos três métodos de estimativa de evapotranspiração – Tanque Classe A, Thornthwaite e Hargreaves – em relação ao de Penman-Monteith, em Jaguaruana e Morada Nova, observou-se que os dois primeiros tiveram um desempenho contraditório: ora apresentavam valores próximos àqueles estimados por Penman-Monteith, ora apresentavam

resultados bem diferentes. Vale ressaltar, portanto, que há que se ter cautela na utilização de valores de evapotranspiração contidas no PERH, vez que o Método de Thornthwaite foi adotado neste Plano.

O Método de Hargreaves, por sua vez, apresentou, para ambas as estações, resultados bem próximos àqueles obtidos com a aplicação de Penman-Monteith, independentemente de se ter utilizado a equação ou os valores tabelados pelo autor em 1974. . Em termos anuais, os desvios do Método de Hargreaves em relação ao Método de Penman-Monteith, ambos utilizando a mesma base de dados, se situaram em torno de 5% para Jaguaruana e 2% para Morada Nova.

Assim posto, fica a critério do planejador a escolha de uma das duas metodologias para a estimativa da evapotranspiração potencial em Jaguaruana e Morada Nova: Penman-Monteith, em atenção à recomendação da FAO para estudos desta natureza, ou Hargreaves, método de fácil aplicação e de tradicional utilização em todo o Nordeste Brasileiro.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CEARÁ (1992). *Plano Estadual de Recursos Hídricos*, Secretaria de Recursos Hídricos.
- DOORENBOS, J. e PRUITT, W. (1976). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudios FAO Riego y drenaje nº24, Roma.
- HARGREAVES, G.H. (1974). *Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil*. Utah State University, Logan, UT.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INEMET (1992). *Normais Climatológicas (1961 –1990)*
- PENMAN, H.L. (1948). *Natural Evaporation from Open Ware, Bare Soil and Grass*. Proc. Roy. Soc. London, A 193:120-126.
- SOUZA, F. (1998). *Avaliação dos Estudos Hidroclimatológicos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará: I – Evapotranspiração*. Encontro das Águas, IICA, Fortaleza, Ceará.