

## Capítulo 07- Método de Hargreaves

### 7.1 Introdução

O método de Hargreaves. 1985 tem como objetivo obter a evapotranspiração de referência ETo baseado em poucos dados, como temperatura média, mínima e máxima mensal e da radiação extraterrestre Ra.

### 7.2 Distância relativa da Terra ao Sol dr

A distância relativa da terra ao sol “dr” é fornecida pela equação em radianos:

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos [(2 \times \text{PI} / 365) \times J]$$

Sendo:

dr= distância da terra ao sol (rad)

J= dia Juliano que varia de 1 a 365dias.

$$N = (24 / \text{PI}) \times ws$$

**Mas:**

$$ws = \arccos [-\tan(\Phi) \times \tan(\delta)]$$

Sendo:

ws= ângulo da hora do por do sol em (rad)

Φ= latitude do local considerado. Positivo no hemisfério norte e negativo no hemisfério Sul (Cuidado!). Para Guarulhos Φ= - 23° e 30min = -23,5° (hemisfério sul é negativo). Também deve estar em (rad).

δ = declinação solar (rad)

N= número de horas de luz solar em um dia (h)

### 7.3 Declinação solar δ (rad)

A declinação solar δ pode ser calculada por:

$$\delta = 0,409 \times \text{sen} [(2 \times \text{PI} / 365) \times J - 1,39]$$

#### Exemplo 7.1

Calcular a declinação solar para o mês de março em local.

O dia Juliano para o mês de março conforme Tabela (23.1) é J=74dias.

$$\delta = 0,4093 \times \text{sen} [(2 \times \text{PI} / 365) \times J - 1,405]$$

$$\delta = 0,4093 \times \text{sen} [(2 \times 3,1416 / 365) \times 74 - 1,405] = -0,040 \text{ rad}$$

#### Exemplo 7.2

Calcular o ângulo do por do sol ws em local com latitude Φ= -23,5° (sinal negativo porque está no hemisfério sul) e declinação solar

δ = -0,040 em radianos.

$$23 \text{ graus} + 30 \text{ min} / 60 = 23 + 0,5 = 23,5^\circ$$

Primeiramente transformemos Φ= 23,5° em radianos:

$$\text{Radiano} = -23,5^\circ \times \text{PI} / 180 = -23,5 \times 3,1416 / 180 = -0,410 = \Phi$$

$$ws = \arccos [-\tan(\Phi) \times \tan(\delta)]$$

$$ws = \arccos [-\tan(-0,410) \times \tan(-0,040)] = 1,59 \text{ rad}$$

**Exemplo 7.3**

Calcular a distância relativa da terra ao sol para o mês de março, sendo o dia Juliano J=74

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos [(2 \times \text{PI} / 365) \times J]$$

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos [(2 \times 3,1416 / 365) \times 74]$$

$$dr = 1,010 \text{ rad}$$

**7.4 Dia Juliano**

Vai de 1 a 365 dias. Geralmente é o meio do mês contado deste o dia primeiro. Usaremos como base sempre o dia 15 de cada mês.

Assim para janeiro o dia Juliano é 15; para fevereiro é 46; para março é 74 e para abril 105 e assim por diante conforme Tabela (7.1). Usamos a planilha Excel da Microsoft com a função TRUNCAR

=TRUNCAR (Coluna 1 x 30,5 – 14,6) dará o valor 15 e assim por diante.

**Tabela 7.1-Dia Juliano**

Ordem	Mês	Dia Juliano (1 A 365)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3
		=TRUNCAR (Coluna 1 x 30,5 -14,6)
<b>1</b>	<b>Janeiro</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Fevereiro</b>	46
<b>3</b>	<b>Março</b>	74
<b>4</b>	<b>Abril</b>	105
<b>5</b>	<b>Mai</b>	135
<b>6</b>	<b>Junho</b>	166
<b>7</b>	<b>Julho</b>	196
<b>8</b>	<b>Agosto</b>	227
<b>9</b>	<b>Setembro</b>	258
<b>10</b>	<b>Outubro</b>	288
<b>11</b>	<b>Novembro</b>	319
<b>12</b>	<b>Dezembro</b>	349

**7.5 Radiação extraterrestre Ra**

A radiação solar extra-terrestre Ra em (MJ/m<sup>2</sup> x dia) pode ser estimada por:

$$Ra = (24 \times 60 / \text{PI}) \times dr \times G_{sc} [\text{ws} \times \text{sen}(\Phi) \times \text{sen}(\delta) + \cos(\delta) \times \cos(\Phi) \times \text{sen}(\text{ws})]$$

Sendo:

Ra= radiação extraterrestre (MJ/m<sup>2</sup> x dia)

Gsc= constante solar= 0,0820 MJ/m<sup>2</sup> x min

ws= ângulo solar (rad)

Φ= latitude (rad)

δ =declinação solar (rad)

dr= distância relativa da Terra ao Sol.

### 7.6 Método de Hargreaves para ETo

$$E_{To} = 0,0135 \times K_T \times (T_{m\acute{e}dia} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times R_a$$

Sendo:

ETo= evapotranspiração de referência (mm/dia)

Tmédia= temperatura média do mês (°C)

Tmax= temperatura máxima do mês (°C)

Tmin= temperatura mínima do mês (°C)

Ra= radiação extraterrestre (mm/dia)

Nota: para transformar Ra de MJ/m<sup>2</sup> dia para mm/dia temos que dividir por 2,45

KT=0,162 para região interiorana

KT= 0,19 para região costeira

Então para região interiorana KT=0,162

$$E_{To} = 0,0135 \times 0,162 \times (T_{m\acute{e}dia} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times R_a$$

$$E_{To} = 0,0022 \times (T_{m\acute{e}dia} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times R_a$$

#### Exemplo 7.4

Calcular ETo usando o método de Hargreaves, sendo a temperatura mínima de 16°C, temperatura média de 24,7°C e temperatura máxima de 32,6°C. Consideramos o valor da radiação extraterrestre Ra= 42,46 MJ/m<sup>2</sup>xdia.

$$R_a = 42,46 \text{ MJ/m}^2 \times \text{dia} = 42,46 / 2,45 = 17,33 \text{ mm/dia}$$

$$E_{To} = 0,0022 \times (T_{m\acute{e}dia} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times R_a$$

$$E_{To} = 0,0022 \times (24,7 + 17,8) \times (32,6 - 16)^{0,5} \times 17,33 = 6,8 \text{ mm/dia}$$

ETo= 6,8mm/dia para o mês de janeiro

Para efeito de comparação, foi calculado usando *Penman-Monteith* FAO, 1998 o ETo= 4,0mm/dia.

Podemos então observar que o *método de Hargreaves* apresenta grandes erros, **devendo por isto ser calibrado.**

### Exemplo 7.5

Aplicar o método de *Hargreaves* para o município de Guarulhos.

**Tabela 7.2- Cálculos de aplicação do método de Hargreaves para o município de Guarulhos**

Guarulhos UNG					tm=(tmax+tmin) /2	Latitude norte: positivo e sul: negativo			
ano 2005					Temp media	Latitude Guarulhos 23graus e 30min			
Dias no mês	Ordem	Precipitação	Temp max	Temp min	(°C)	graus	Dia Juliano ( 1 a 365)	dr	
		(mm)	(°C)	(°C)					
31	Janeiro	1	254,1	32,6	16,0	24,3	-23,5	15	1,032
28	fev	2	251,7	31,8	16,2	24,0	-23,5	46	1,023
31	mar	3	200,9	31,7	15,3	23,5	-23,5	76	1,009
30	abr	4	58,3	30,0	12,8	21,4	-23,5	107	0,991
31	maio	5	70,3	27,9	9,7	18,8	-23,5	137	0,977
30	junho	6	39,0	26,3	8,3	17,3	-23,5	168	0,968
31	julho	7	30,8	26,8	8,1	17,4	-23,5	198	0,968
31	agosto	8	24,9	29,3	8,6	19,0	-23,5	229	0,977
30	set	9	75,1	31,5	9,7	20,6	-23,5	259	0,992
31	out	10	137,4	32,3	12,2	22,2	-23,5	290	1,009
30	nov	11	130,5	32,1	12,8	22,4	-23,5	320	1,024
31	dez	12	214,7	32,3	15,0	23,7	-23,5	351	1,032
365		Total=	1487,8						

**Tabela 7.3- Cálculos de aplicação do método de Hargreaves para o município de Guarulhos**

δ	Latitude	Latitude	ws	Ra	Ra	ETo	Eto
rad	graus	rad	rad	MMJ/m2xdia	(mm/dia)	(mm/dia)	(mm/mês)
-0,373	-23,5	-0,410	1,74	42,46	17,33	6,8	212,1
-0,236	-23,5	-0,410	1,68	40,10	16,37	6,2	174,2
-0,040	-23,5	-0,410	1,59	35,68	14,56	5,6	173,8
0,173	-23,5	-0,410	1,49	29,73	12,13	4,5	136,1
0,334	-23,5	-0,410	1,42	24,64	10,06	3,6	111,9
0,408	-23,5	-0,410	1,38	22,13	9,03	3,1	92,9
0,372	-23,5	-0,410	1,40	23,27	9,50	3,3	103,1
0,233	-23,5	-0,410	1,47	27,64	11,28	4,3	134,7
0,036	-23,5	-0,410	1,56	33,32	13,60	5,6	168,2
-0,176	-23,5	-0,410	1,65	38,51	15,72	6,5	200,9
-0,336	-23,5	-0,410	1,72	41,64	16,99	6,9	207,4
-0,408	-23,5	-0,410	1,76	42,87	17,50		1715,2

Conclusão: o método de *Hargreaves* produz valores muito grandes e portanto não é aceitável e para se ter bons resultados é necessário aferição do mesmo para uma determinada região.