

Capítulo 04 Método de Turc, 1961



Anemômetro
Varejao-Silva, 2005

SUMÁRIO

Ordem	Assunto
4.1	Introdução
4.2	Método de Turc, 1961
4.3	Dia Juliano
4.4	Distância relativa da Terra ao Sol
4.5	Ângulo da hora do por do sol ω_s
4.6	Declinação solar
4.7	Relação n/N
4.8	Radiação extraterrestre R_a
4.9	Radiação útil de curto comprimento R_s
4.10	Estudo do caso: aplicação do Método de Turc, 1961 para a cidade de Guarulhos
4.11	Conclusão
4.12	Bibliografia e livros recomendados

Capítulo 04- Método de Turc, 1961

4.1 Introdução

O método de Turc, 1961 para evapotranspiração de referência ETo baseia-se em:

- umidade relativa do ar em porcentagem,
- nebulosidade (relação n/N),
- temperatura média mensal do ar em graus centígrados,
- latitude.

4.2 Método de Turc, 1961

Vamos usar as notações de Xu, 2002 onde aparecem duas equações, sendo uma para umidade relativa do ar (UR) menor que 50% e outra para maior que 50%.

$$ETo = 0013 \times [T / (T+15)] \times (Rs + 50) \times [1 + (50 - UR) / 70] \quad UR < 50\%$$

$$ETo = 0,013 \times [T / (T+15)] \times (Rs + 50) \quad UR \geq 50\%$$

Sendo:

T= temperatura média mensal do ar (° C)

UR= umidade relativa do ar média mensal (%)

ETo= evapotranspiração de referência (mm/dia)

Rs= radiação solar total (cal/cm² x dia)

Conversão de unidades: 1mm/dia= 58,5 cal/cm²x dia

A Figura (4.1) mostra a umidade relativa do ar em função da temperatura e da hora do dia.

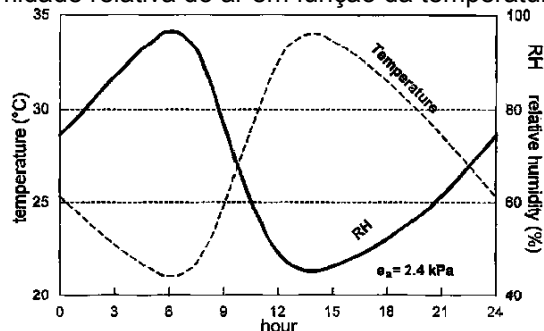


Figura 14,1- Umidade relativa do ar (RH) em função da hora e da temperatura
 Fonte: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>

4.3 Dia Juliano

Vai de 1 a 365 dias. Geralmente é o meio do mês contado deste o dia primeiro. Assim para janeiro o dia Juliano (Caio Julio César) é 15; para fevereiro é 46; para março é 76 e para abril 105 e assim por diante conforme Tabela (4.1).

Tabela 4.1-Dia Juliano

Mês	Dia Juliano
Janeiro	15
Fevereiro	46
Março	74
Abril	105
Mai	135
Junho	166
Julho	196
Agosto	227
Setembro	258
Outubro	288
Novembro	319
Dezembro	349

Exemplo 4.1

Achar o dia Juliano do meio do mês de março.

O dia Juliano para o meio mês de março conforme Tabela (4.1) é $J=74$ dias.

4.4 Distância relativa do Terra ao Sol

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

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos \left[\left(2 \times \pi / 365 \right) \times J \right]$$

Sendo:

dr = distância da terra ao sol (rad)

J = dia Juliano que varia de 1 a 365 dias. Assim dia 15 de março $J=74$ conforme Tabela (4.1)

Exemplo 4.2

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

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos \left[\left(2 \times \pi / 365 \right) \times J \right]$$

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

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

4.5 Ângulo da hora do por do sol ws

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

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 $\Phi = -23^\circ$ e 30min = $-23,5^\circ$ (hemisfério sul é negativo).

Também deve estar em (rad). O valor de Φ varia de 55° N para 55° S.

Conversão graus para radianos

$$\text{Radiano} = (\pi / 180) \times (\text{graus})$$

Exemplo 4.3

Calcular o ângulo do por do sol ws em local com latitude $\Phi = -23,5^\circ$ (sinal negativo porque está no hemisfério sul) e declinação solar $\delta = -0,040$ em radianos.

Primeiramente transformemos $\Phi = 23,5^\circ$ em radianos:

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

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

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

4.6 Declinação solar δ

δ = declinação solar (rad)

A declinação solar delta pode ser calculado por:

$$\delta = 0,4093 \times \sin \left[\left(2 \times \pi / 365 \right) \times J - 1,405 \right]$$

Exemplo 4.4

Calcular a declinação solar para Guarulhos para o meio do mês de março

Dia Juliano $J=74$

$$\delta = 0,4093 \times \sin \left[\left(2 \times \pi / 365 \right) \times J - 1,405 \right]$$

$$\delta = 0,4093 \times \sin \left[\left(2 \times 3,1416 / 365 \right) \times 74 - 1,405 \right] = -0,054 \text{ rad}$$

4.7 Relação n/N

A relação n/N significa os dias de bastante sol durante o dia. Durante 24h temos horas de dia e horas de noite. As horas totais de dias são N e o número de horas em que temos sol é denominado de n .

Quando não temos nenhuma nuvem, o número de horas em que temos sol n é igual a N e portanto, $n/N=1$. No caso do dia ser totalmente nublado então, $n=0$ e $n/N=0$.

Tabela 4.2- Valores de N para os meses de Janeiro a dezembro para o município de Guarulhos

	ws	Número de horas de sol durante o dia N
	(rad)	(h)
Janeiro	1,74	13,31
Fevereiro	1,68	12,80
Março	1,59	12,18
Abril	1,50	11,46
Mai	1,42	10,88
Junho	1,38	10,56
Julho	1,40	10,68
Agosto	1,46	11,17
Setembro	1,55	11,86
Outubro	1,64	12,55
Novembro	1,72	13,15
Dezembro	1,76	13,44

A maneira de se achar o número de horas de dia em 24 horas é usando a expressão:

$$N = (24 / \pi) \times ws$$

A Tabela (4.2) fornece os valores de N para o município de Guarulhos para o meio de cada mes desde janeiro a dezembro.

A Figura (4.2) mostra a variação dos valores de N para os diversos meses do ano e conforme a latitude.

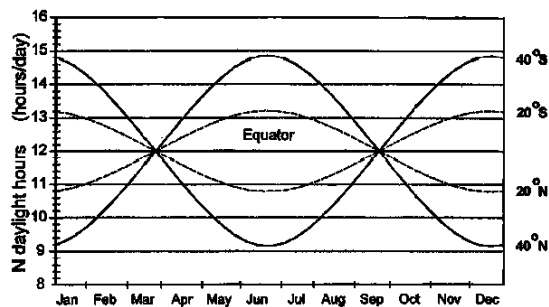


Figura 4.2- Número de horas de sol por dia N
 Fonte: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>

O valor n que as horas de sol durante o dia é determinado através de dispositivo de *Campbell Stokes* conforme Figura (4.3). O dispositivo marca de hora em hora o chamado dia de sol obtendo-se no final o valor de n.



Figura 4.3- Dispositivo para achar o valor de n denominado Campbell Stokes
http://www.russell-scientific.co.uk/meteorology/campbell_stokes_sunshine_recorder.html

Exemplo 4.5

Calcular o número máximo de horas de sol por dia N em horas para o mês de março sendo $ws = 1,59rad$

$$N = (24 / \pi) \times ws$$

$$N = (24 / 3,1416) \times 1,59 = 12,1h$$

Exemplo 4.6

Calcular a relação n/N sendo $N = 12,1h$ e $n = 5h$
 Nebulosidade = $n/N = 5 / 12,1 = 0,41$, ou seja, 41%

4.8 Radiação extraterrestre R_a

A radiação solar extraterrestre R_a no topo da atmosfera da Terra em ($MJ/m^2 \times dia$) pode ser estimada por:

$$R_a = (24 \times 60 / \pi) \times dr \times G_{sc} \times (ws \times \sin(\Phi) \times \sin(\delta) + \cos(\delta) \times \cos(\Phi) \times \sin(ws))$$

Sendo:

R_a = radiação solar no topo da atmosfera ou radiação extraterrestre ($MJ/m^2 \times dia$)

G_{sc} = constante solar = $0,0820 MJ/m^2 \times min$ (**Cuidado não errar na unidade**)

ws = ângulo solar (rad)

Φ = latitude (rad)

δ = declinação solar (rad)

dr = distância relativa da Terra ao Sol (rad)

A Figura (4.4) mostra os valores da radiação extraterrestre R_a conforme a latitude e mês.

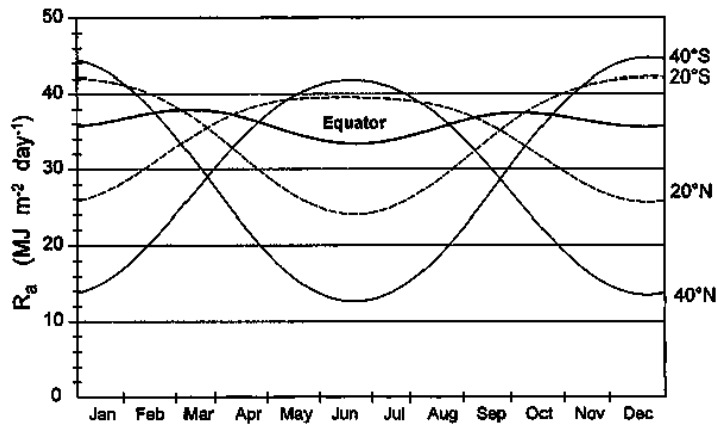


Figura 4.4-Valores da radiação extraterrestre R_a
 Fonte: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>

Exemplo 4.7

Calcular a radiação solar extraterrestre R_a para o município de Guarulhos, mês de março sendo:

R_a = radiação solar no topo da atmosfera ou radiação extraterrestre ($\text{MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$)

G_{sc} = constante solar= $0,0820 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{min}$ (Cuidado não errar na unidade)

ω_s = ângulo solar (rad)=1,59 rad

Φ = latitude (rad)= -0,410 rad

δ =declinação solar (rad)= -0,054 rad

d_r = distância relativa da Terra ao Sol= 1,010 rad

$$R_a = (24 \times 60 / \pi) \times d_r \times G_{sc} \times (\omega_s \times \sin(\Phi) \times \sin(\delta) + \cos(\delta) \times \cos(\Phi) \times \sin(\omega_s)).$$

$$R_a = (24 \times 60 / 3,1416) \times 1,010 \times 0,0820 \times (1,59 \times \sin(-0,410) + \sin(-0,054) \times \cos(-0,410) \times \sin(1,59)) = 36,03 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

4.9 Radiação útil de curto comprimento R_s

A radiação útil de curto comprimento de onda R_s pode ser calculada por:

$$R_s = (a_s + b_s \times n / N) \times R_a = (0,25 + 0,50 \times n / N) \times R_a$$

Sendo:

α = albedo. Para solo gramado $\alpha=0,23$

$a_s=0,25$ e $b_s=0,50$ são coeficientes que para climas médios

n = número de horas de sol forte por dia (h)

N = número máximo de horas de sol por dia (h)

n/N = nebulosidade ou fração de luz. Pode também ser fornecido em porcentagem. É uma medida qualitativa não muito precisa. Para Guarulhos a média é $n/N= 0,42$, ou seja, 42%.

R_a = radiação solar extraterrestre ($\text{MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$)

R_s = radiação solar de entrada. Energia total incidente sobre a superfície terrestre ($\text{MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$)

Exemplo 4.8

Dado $R_a=36,03 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$

$n/N= 0,42$

Calcular a radiação útil de curto comprimento R_s .

$$R_s = (0,25 + 0,50 \times n / N) \times R_a$$

$$R_s = (0,25 + 0,50 \times 0,42) \times 36,03 = 16,63 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

Mas na fórmula de Turc, 1961 o valor de R_s está $\text{cal}/\text{cm}^2 \times \text{dia}$.

Mas $1 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia}$ equivale a $23,9 \text{ cal}/\text{cm}^2 \times \text{dia}$ então teremos:

$$R_s = 16,63 \text{ MJ}/\text{m}^2 \times \text{dia} \times 23,9 = 397,57 \text{ cal}/\text{cm}^2 \times \text{dia}.$$

Cálculo da evapotranspiração

Como a UR>50% temos: para o mês de março $T=24 \text{ }^\circ\text{C}$

$$E_{To} = 0,013 \times [T / (T+15)] \times (R_s + 50)$$

$$E_{To} = 0,013 \times [24 / (24+15)] \times (397,57 + 50) = 3,6 \text{ mm}/\text{dia}$$

Como o mês de março de 31 dias teremos:

$$E_{T0} \text{ mês de março} = 31 \times 3,6 \text{ mm}/\text{dia} = 111 \text{ mm}/\text{mês}$$

4.10 Estudo do caso: aplicação do Método de Turc, 1961 para a cidade de Guarulhos

Tabela 4.3- Aplicação do Método de Turc para a cidade de Guarulhos

Dias no mês		Precipitação média mensal	Temperatura média do mês (°C)	UR umidade relativa do ar média
Dias	Mês	(mm)	23,7	%
31	Janeiro	254,1	24,7	75
28	Fevereiro	251,7	24,0	75
31	Março	200,9	24,0	75
30	Abril	58,3	22,5	73
31	Maio	70,3	19,3	75
30	Junho	39,0	18,2	75
31	Julho	30,8	17,8	73
31	Agosto	24,9	19,6	68
30	Setembro	75,1	20,2	72
31	Outubro	137,4	21,8	73
30	Novembro	130,5	22,5	73
31	Dezembro	214,7	23,9	74
365	Total	1487,8		Média=73

Tabela 4.4-continuação- Aplicação para todos os meses da cidade de Guarulhos

Nebulosidade	Latitude	Dia Juliano (1 a 365)	dr	Declinação solar
n/N	graus		(rad)	(rad)
0,31	-23,5	15	1,032	-0,373
0,39	-23,5	46	1,023	-0,236
0,42	-23,5	74	1,010	-0,054
0,47	-23,5	105	0,992	0,160
0,47	-23,5	135	0,977	0,325
0,49	-23,5	166	0,968	0,406
0,49	-23,5	196	0,968	0,377
0,53	-23,5	227	0,976	0,244
0,37	-23,5	258	0,991	0,043
0,35	-23,5	288	1,008	-0,164
0,37	-23,5	319	1,023	-0,332
0,33	-23,5	349	1,032	-0,407

Tabela 4.5-continuação- Aplicação para todos os meses da cidade de Guarulhos

Latitude	ws	N	Ra	Rs		Turc	
(rad)	(rad)	(h)	(MJ/m ² xdia)	(MJ/m ² xdia)	(cal/cm ² xdia)	(mm/dia)	(mm/mês)
-0,410	1,74	13,31	42,46	17,23	411,72	3,7	116
-0,410	1,68	12,80	40,10	17,76	424,38	3,8	106
-0,410	1,59	12,18	36,03	16,63	397,57	3,6	111
-0,410	1,50	11,46	30,12	14,62	349,34	3,1	93
-0,410	1,42	10,88	24,91	12,11	289,50	2,5	77
-0,410	1,38	10,56	22,18	10,98	262,53	2,2	67
-0,410	1,40	10,68	23,08	11,46	273,98	2,3	71
-0,410	1,46	11,17	27,29	14,11	337,22	2,9	88
-0,410	1,55	11,86	33,13	14,35	342,91	2,9	88
-0,410	1,64	12,55	38,23	16,32	389,98	3,4	105
-0,410	1,72	13,15	41,56	18,01	430,44	3,7	112
-0,410	1,76	13,44	42,85	17,80	425,46	3,8	118
						Total=	1153

4.11 Conclusão:

O método de Turc, 1961 apresentou evapotranspiração de referência ETo anual de 1153mm/ano, próximo ao valor ao método padrão de Penman-Monteith FAO, 1998 cujo valor é 1201mm/ano.

O erro foi somente de 4%, sendo o método considerado bom.

4.12 Bibliografia e livros consultados

-FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION). *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements* FAO- Irrigation and drainage paper 56. Rome, 1998. ISBN 92-5-1042105.

-XU, CHONG-YU. *Hydrologic Models*. Uppsala University Department of Earth Sciences Hydrology, ano de 2002, com 165páginas. <http://folk.uio.no/chongyux/papers/fulltext.pdf>.