

## A IMPORTÂNCIA DA INSOLAÇÃO NO PROCESSO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO MUNICÍPIO DE OLINDA, PE.

José Antônio Teixeira

Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" — UNESP

### ABSTRACT

By means of historical data obtained by consulting existing literature it was possible to define the principal climatological parameters that influenced the hydrology of Olinda Municipal District. These parameters are: pluviometry, thermometry, insolation, nebulosity, atmospheric pressure, relative humidity, wind and evaporation.

For the present study it was considered convenient to adopt the period 1943 to 1965 because this period being one of a large number of climatological observations, represents a good statistical sampling.

By Fortran computation a multiple regression statistical analysis was done and it was concluded that, of all the climatological data, insolation is by far the most important factor for evaporation and consequently for evapotranspiration as well.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao avaliar-se a evapotranspiração de uma determinada área, é comum a adoção de critérios incorretos. Assim, deve ser condenada a assunção de raciocínio simplista tal como o de dividir-se a precipitação pluviométrica em três terços correspondentes, cada um deles, à evapotranspiração, ao escoamento superficial e à infiltração. Também errôneo é o cálculo da evapotranspiração levando-se em conta apenas dados relativos à precipitação e à temperatura.

A adoção de metodologia que considere a insolação como a variável mais importante no processo da evapotranspiração, é o critério mais correto, conforme será mostrado neste trabalho.

## 2. CLIMATOLOGIA

Para o presente estudo foi considerada conveniente a adoção do período de 1943 a 1965 pelo fato deste período representar, estatisticamente, uma boa amostragem e, também, por constituir-se o período de maior número de observações climatológicas disponíveis (SUDENE, 1963).

Os dados climatológicos médios observados, em relação, ao período considerado, estão condensados na Tab. 1.

### 2.1. PLUVIOMETRIA

Conforme as observações registradas no período de 1911 a 1965, as precipitações pluviométricas médias do Município de Olinda distribuem-se, durante o ano, em duas épocas bem distintas: uma chuvosa, que é chamada regionalmente de "o inverno", de março a agosto e outra de estiagem, que recebe o nome de "o verão", de setembro a fevereiro.

Analisando o regime pluviométrico da área, no período considerado, verifica-se que a precipitação média mensal varia desde a máxima de 270,8 mm, em maio, até a mínima de 38,1 mm, em outubro e que a precipitação anual é relativamente alta, acusando um valor médio de 1.634,9 mm (Tab. 1).

### 2.2. TERMOMETRIA

As temperaturas médias, no período, variam muito pouco; desde a máxima de 27,2°C, no mês de fevereiro, a valores mínimos de 24°C, nos meses de julho a agosto, sendo de 25,8°C a média anual (Tab. 1).

### 2.3. INSOLAÇÃO

A insolação média, no período, oscila entre a máxima de 289,1 horas, no mês de dezembro e a mínima de 184,2 horas, em junho, somando 2.844 horas a insolação anual (Tab. 1). Trata-se, por-

Tabela 1 - Dados climatológicos médios observados no período de 1943 a 1965. Estação: Olinda-PE. Latitude: 08° 01'S. Longitude: 34° 51'W. Altitude: 55m. PA=pressão atmosférica (mb), t=temperatura (°C), nb=nebulosidade (0-10) n=insolação (h), Hr=umidade relativa (%), p=precipitação pluviométrica (mm), v<sub>2</sub>=velocidade do vento (m/s), E=evaporação (mm).

Ident.	PA	t	nb	n	Hr	p	E	v <sub>2</sub>
JAN	1006,8	27,0	5,7	281,2	75,2	73,3	99,1	2,6
FEV	1005,5	27,2	5,8	250,0	75,8	61,1	87,3	2,5
MAR	1005,4	27,0	6,4	223,4	78,5	186,0	78,5	2,3
ABR	1005,6	26,2	6,7	194,3	81,3	208,4	70,5	2,4
MAI	1006,9	25,4	6,8	202,4	82,6	270,8	61,6	2,9
JUN	1008,4	24,6	6,7	184,2	82,5	261,9	59,5	2,9
JUL	1009,5	24,0	6,5	206,1	81,0	224,3	68,7	3,5
AGO	1009,7	24,0	6,5	216,1	79,5	151,1	73,1	3,3
SET	1009,0	24,9	5,6	230,0	77,4	69,6	83,2	3,2
OUT	1007,8	25,9	5,4	282,7	75,2	38,1	96,8	3,0
NOV	1006,0	26,5	5,5	284,5	75,1	29,7	94,2	2,5
DEZ	1005,6	26,8	5,6	289,1	74,5	50,6	95,0	2,5
ANO	1007,2	25,8	6,1	2844,0	78,2	1634,9	967,5	2,8

que mais influenciam no fenômeno da evapotranspiração, pois, com o conhecimento das variáveis selecionadas, já seria possível a adoção do método mais promissor para estimar-se a evapotranspiração.

Sabe-se que, quando se dispõe de uma série de dados que constituem um conjunto de variáveis independentes  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , pode-se avaliar a importância relativa ou a comportamento destas variáveis  $X_i$  com uma variável dependente  $Y$ . Este tipo de análise é comumente chamado de regressão multivariante e pode ser conduzido por meio de técnicas de regressão, correlação múltipla ou parcial. Estes métodos permitem verificar tanto a interrelação entre as variáveis independentes como a existência de dados redundantes. Assim, pode-se selecionar quais as variáveis mais representativas no contexto de uma série de dados, para um determinado estudo.

Para uniformização de tratamento dos dados na análise estatística, foi efetuada uma mudança de notação de variáveis da seguinte maneira:  $E = Y =$  evaporação,  $PA = X_1 =$  pressão atmosférica,  $t = X_2 =$  temperatura,  $nb = X_3 =$  nebulosidade,  $n = X_4 =$  insolação,  $Hr = X_5 =$  umidade relativa,  $P = X_6 =$  precipitação pluviométrica e  $v_2 = X_7 =$  velocidade do vento (Tab. 1).

No presente caso, quer se verificar dentre as médias mensais das variáveis independentes, ou seja,

$X_1$  - Pressão atmosférica (mb)

$X_2$  - Temperatura ( $^{\circ}C$ )

$X_3$  - nebulosidade (0-10)

$X_4$  - Insolação (h)

$X_5$  - Umidade relativa (%)

$X_6$  - Precipitação pluviométrica (mm)

$X_7$  - Velocidade do vento (m/s)

qual é a que exerce maior influência na média mensal da variável dependente, que é

$Y$  - Evaporação (mm).

Na regressão múltipla verifica-se, primeiramente, qual das variáveis, tomadas uma a uma, apresenta maior influência na variabilidade da variável dependente. Em seguida procura-se dentre as combinações de variáveis tomadas duas a duas, qual o par que apresenta maior influência. Vê-se que desse par consta a variável que já se apresentou como a mais influente inicialmente, e uma segunda menos influente. E assim, sucessivamente, vai-se verificando uma ordem de prioridade. Essa influência pode ser representada em

em termos percentuais. Nesse processo é usada correlação parcial e múltipla. Alguns programas fixam previamente a relativa importância de uma dada variável X, para os estádios subsequentes de análise. Tal procedimento, no entanto, pode levar a resultados falsos, nos quais uma variável em combinação com duas ou três outras pode crescer em importância relativa quando combinada com quatro ou cinco. Por esta razão, no caso em estudo, foram computadas todas as combinações das variáveis independentes X.

O procedimento adotado foi estabelecer o seguinte modelo:

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_5 + A_6X_6 + A_7X_7$$

As computações para estimar os diversos coeficientes de regressão A são expressos em matriz sob a forma:

$$S \hat{A} = g$$

onde

g é um vetor 8 x 1;

S é uma matriz 8 x 8 de somas de quadrados e produtos cruzados de X;

$\hat{A}$  é um coeficiente vetor 8 x 1.

A forma geral é a seguinte:

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma X_1 & \Sigma X_2 & \dots & \Sigma X_7 \\ \Sigma X_1 & \Sigma X_1^2 & \Sigma X_1 X_2 & \dots & \Sigma X_1 X_7 \\ \Sigma X_2 & \Sigma X_2 X_1 & \Sigma X_2^2 & \dots & \Sigma X_2 X_7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Sigma X_7 & \Sigma X_7 X_1 & \Sigma X_7 X_2 & \dots & \Sigma X_7^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{A}_0 \\ \hat{A}_1 \\ \hat{A}_2 \\ \dots \\ \hat{A}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y \\ \Sigma X_2 Y \\ \dots \\ \Sigma X_7 Y \end{bmatrix}$$

onde N é o número de observações.

Para obter  $\hat{A}$ , a matriz S é primeiramente invertida e depois multiplicada por g. A proporção da soma total de quadrados de Y atribuível a todas as sete variáveis X é então computada e expressa em porcentagem.

Para obter todas as combinações possíveis dos X da matriz na forma geral dada acima, o programa é feito de tal maneira que o elemento da primeira linha e primeira coluna de S seja sempre N e o primeiro de g seja sempre  $\Sigma Y$ . Assim, inicialmente, os X são tomados um a um, levando às submatrizes:

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma X_1 & \hat{A}_0 \\ \Sigma X_1 & \Sigma X_1^2 & \hat{A}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma X_2 & \hat{A}_0 \\ \Sigma X_2 & \Sigma X_2^2 & \hat{A}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_2 Y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma X_7 & \hat{A}_0 \\ \Sigma X_7 & \Sigma X_7^2 & \hat{A}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_7 Y \end{bmatrix}$$

Quando todas as combinações são computadas, o passo seguinte é tomar matrizes 3 x 3 tendo pares de X começando novamente com N como elemento da primeira linha e primeira coluna de S, e Y como primeiro elemento de g. A primeira submatriz 3 x 3 é composta por X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub>, a segunda por X<sub>1</sub> e X<sub>3</sub> e, assim, sucessivamente para todas as combinações. A primeira submatriz é, por exemplo:

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma X_1 & \Sigma X_2 \\ \Sigma X_1 & \Sigma X_1^2 & \Sigma X_1 X_2 \\ \Sigma X_2 & \Sigma X_1 X_2 & \Sigma X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{A}_0 \\ \hat{A}_1 \\ \hat{A}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y \\ \Sigma X_2 Y \end{bmatrix}$$

Os diversos  $\hat{A}$  mudam de valor em cada estágio, mas, continuando o processo até que as sete variáveis A sejam usadas, é possível identificar o X individual de maior representatividade, o par de X de maior representatividade e assim por diante. Em outras palavras, para se avaliar a influência de uma única variável X, faz-se uma correlação parcial da variável independente Y, apenas, com a variável dependente X<sub>1</sub> como se as demais fossem constantes e calcula-se o coeficiente de determinação, r<sup>2</sup>, que é o quadrado do coeficiente de correlação multiplicado por 100. Em seguida, obtém-se o r<sup>2</sup> x 100 de Y com X<sub>2</sub> e assim até o X<sub>7</sub>. O X de maior representatividade é o que apresentar maior r<sup>2</sup> x 100. Para identificar o par de X de maior representatividade, faz-se a correlação de Y com X<sub>1</sub>X<sub>2</sub> e se procura o r<sup>2</sup> x 100. Em seguida, a correlação entre Y e X<sub>1</sub>X<sub>2</sub> e assim sucessivamente. Também, ao maior r<sup>2</sup> x 100 desses pares corresponde à variável X mais representativa seguida da segunda mais forte. E assim, o processo continua até que se chegue à correlação entre Y e os 7X.

No presente caso, os dados considerados foram processados em computador IBM-1130, utilizando-se de programação em linguagem FORTRAN.

Tendo em vista que no processo são tomados os somatórios das variáveis X, qualquer que seja o número N de observações, o número total de combinações obtida é  $2^k - 1$ , onde k é o número total de X usados com um dado Y. Como no caso  $k = 7$ , foram obtidos, então,  $2^7 - 1 = 127$  combinações.

Da análise dos resultados obtidos observa-se que a gama de variabilidade da variável dependente, em percentagem, referente às várias combinações de X, é bastante grande.

No conjunto de dados obtidos pôde-se ver que o efeito de  $X_4$  (insolação) é, dentre as variáveis tomadas uma a uma, a mais importante. Tomando as variáveis X duas a duas, nota-se que os pares onde aparecem  $X_4$  (insolação), apresenta maior percentagem, sendo o mais representativo aquele em que aparece, também,  $X_3$  (nebulosidade).

Isto foi comprovado pela observação dos conjuntos de três variáveis, nos quais as variáveis  $X_3$  e  $X_4$  estão conseqüentemente presentes. No entanto, as contribuições adicionais das outras cinco variáveis não levam a uma grande variação nos valores das percentagens. Viu-se que as combinações  $X_3, X_4, X_6$ ;  $X_2, X_3, X_4$ ;  $X_3, X_4, X_5$ ;  $X_3, X_4, X_7$  e  $X_1, X_3, X_4$  diferem em menos de 1,5%.

Considerando os conjuntos de quatro, cinco e seis variáveis viu-se que a gama de variação dos valores das percentagens vai diminuindo à medida que se aumenta o número de variáveis do conjunto.

Verificando a importância relativa de cada variável X sobre a evaporação Y, foi escolhida  $X_4$  (insolação), com 44,11% da variabilidade total da variável dependente Y, como a mais representativa no conjunto de 1X.

A diferença entre os pares  $X_3X_4$  e  $X_4X_6$  sendo relativamente pequena ( $47,05 - 46,13 = 0,92$ ), viu-se que as variáveis  $X_3$  (nebulosidade) e  $X_6$  (precipitação) exercem, depois de  $X_4$  (insolação), uma grande influência. No entanto, a  $X_3$  (nebulosidade) é um pouco mais representativa, daí ser considerada a segunda mais influente. A contribuição de  $X_3$  (nebulosidade), em presença de  $X_4$  (insolação) é de:

$$47,05 - 44,11 = 2,94\%.$$

Para os conjuntos de 3X, o maior valor da percentagem cor

responde a  $X_3X_4X_6$  com 50,23%. Assim, a contribuição de  $X_6$  (precipitação) que é a terceira mais representativa, em presença de  $X_3$  (nebulosidade) e  $X_4$  (insolação), é de:

$$50,23 - 47,05 = 3,18\%.$$

Por raciocínio semelhante, viu-se que a quarta variável mais influente é  $X_2$  (temperatura), com

$$51,33 - 50,23 = 1,10\%.$$

A quinta é  $X_1$  (pressão atmosférica), com

$$51,73 - 51,33 = 0,40\%.$$

A sexta é  $X_5$  (umidade relativa), com

$$52,16 - 51,73 = 0,43\%.$$

E, finalmente, a sétima é  $X_7$  (velocidade do vento), com

$$52,30 - 52,16 = 0,14\%.$$

A contribuição de cada variável no processo, pela importância relativa, é, portanto:

$X_4$ (insolação)	44,11%
$X_3$ (nebulosidade)	2,94%
$X_6$ (precipitação)	3,18%
$X_2$ (temperatura)	1,10%
$X_1$ (pressão atmosférica)	0,40%
$X_5$ (umidade relativa)	0,43%
$X_7$ (velocidade do vento)	0,14%
	<hr/>
	52,30%

Eliminando do conjunto de variáveis as que influenciam no processo, em menos de 1% (pressão atmosférica, umidade relativa e velocidade do vento), verifica-se que a contribuição mais importante na evaporação reside nos quatro primeiros fatores, sendo os três últimos desprezíveis.

Portanto, dentre as principais variáveis do conjunto de dados climatológicos disponíveis, a insolação é o fator preponderante na evaporação e, conseqüentemente, na evapotranspiração, muito embora verifique-se uma baixa correlação desta com todo o conjunto de variáveis consideradas.

A baixa correlação encontrada pode ser atribuída ao fato da evapotranspiração depender também de outras variáveis não con-



sideradas, como por exemplo: a espécie e o desenvolvimento vegetal, o tipo de folhagem e a profundidade radicular das plantas e, sobretudo, dos fatores que condicionam a natureza e a forma da superfície evaporante, em particular, o teor de umidade do solo, que são muito difíceis de serem medidos, motivo pelo qual THORNTHWAITE (1948) introduziu o conceito de evapotranspiração potencial (CUSTODIO & LLAMAS, 1976).

## 5. CONCLUSÃO

A insolação, no município de Olinda, é o fator que mais influencia no processo da evapotranspiração. Os efeitos da precipitação, da nebulosidade e da temperatura, interferem muito pouco e os da pressão atmosférica, da umidade relativa e da velocidade do vento são desprezíveis no processo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BRASIL, SUDENE - Normais climatológicas da área da SUDENE. Elaborado mediante convênio com o Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Recife, 1963. 82p.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. - Hidrología Subterránea. Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1976. t.1, 1157p.
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A. - An introduction to statistical models in geology. New York, McGraw-Hill Book Company, 1965-475p.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. - The water balance. Publication in climatology. Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, 8(1):104, 1955.