

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO RIO GRANDE DO SUL¹

FERNANDO SILVEIRA DA MOTA² e CLARA OLIVEIRA GOEDERT³

Sumário

O objetivo deste trabalho foi conhecer a Evapotranspiração Potencial em localidades situadas nas diferentes regiões climáticas do Rio Grande do Sul, com a finalidade de determinar as disponibilidades hídricas para a agricultura nessas regiões.

Decidiram, os autores, optar pelo uso da teoria de Penman, a fim de terem uma idéia mais precisa sobre os valores da evapotranspiração no Rio Grande do Sul. No decorrer do trabalho é apresentado um exemplo do cálculo da Evapotranspiração Potencial.

A Evapotranspiração Potencial anual no Rio Grande do Sul, ou seja a necessidade de água para as culturas, apresenta os valores mais elevados nas Missões, Depressão Central e Vale do Uruguai, os mais baixos na Serra do Nordeste e na Serra do Sudeste e valores intermediários na Campanha, Litoral e Planalto.

Com exceção de Pôrto Alegre, que apresenta a evapotranspiração máxima em dezembro, todas as outras localidades apresentam evapotranspiração máxima em janeiro, e mínima em junho.

Os valores anuais de chuva no Estado superam os valores da evapotranspiração; entretanto, considerando-se a distribuição estacional da Evapotranspiração, a qual é muito maior no verão do que no inverno, com valores intermediários na primavera e outono, aliado ao fato de que a distribuição de chuva é praticamente igual nas quatro estações do ano, faz com que ocorram épocas de excesso e deficiência de chuva.

Na Serra do Nordeste, no Planalto e no centro da Depressão Central, normalmente não ocorre deficiência de água, havendo excesso durante todo o ano; entretanto a enorme variabilidade das chuvas de um ano para outro, pode ocasionar durante o verão, ocorrência de secas nas regiões do Planalto e Centro da Depressão Central, em alguns anos.

No Baixo Vale do Uruguai, na Campanha, no Litoral e Leste e Oeste da Depressão Central, os valores da Evapotranspiração Potencial superam os valores de precipitação nos meses de outubro a fevereiro.

Na Serra do Sudeste apenas em dezembro a Evapotranspiração Potencial supera a Precipitação.

Nas Missões, dezembro e janeiro são normalmente secos.

As regiões da Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Vale do Uruguai, Missões e Leste e Oeste da Depressão Central apresentam precipitação superior a Evapotranspiração durante o outono, inverno e primavera.

Quanto à intensidade da seca nas diversas regiões, concluímos que: no Leste da Depressão Central e no Litoral a seca é longa e de grande intensidade; nas Missões, a seca é curta, mas muito intensa, ocorrendo normalmente em janeiro; na Serra do Sudeste a seca é curta e fraca, ocorrendo geralmente em dezembro.

MATERIAL E MÉTODOS

Vários métodos têm sido propostos para o cálculo da evapotranspiração, a qual está diretamente relacionada com a quantidade de água necessária para uma colheita. Alguns desses métodos são baseados em uma correlação empírica com dados climáticos, como por exemplo, a temperatura do ar ou o déficit

de saturação (Thorntwaite 1948, Leeper 1950). Em outros métodos a energia disponível para a evapotranspiração é calculada a partir da radiação incidente, calor advectivo e fluxo de calor do solo. (Penman 1948, Albrecht 1950).

Um fator empírico da redução é introduzido para cobrir possível regulação biológica da transpiração por parte da planta.

Nestes trabalhos é dada particular atenção ao conceito de Evapotranspiração Potencial a qual pode ser definida, como a quantidade de água evaporada e transpirada sob condições ótimas de umidade do solo e de vegetação.

¹ Este trabalho constitui o Boletim Técnico n.º 44 do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Sul (IPEAS).

² Seção de Climatologia Agrícola do IPEAS, Assistente da Escola de Agronomia "Eliseu Maciel", Pelotas, Rio Grande do Sul.

³ Eng.º Agrônomo, Seção de Climatologia Agrícola do IPEAS, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Não há dúvida de que os métodos baseados na energia disponível são em princípio corretos, uma vez que o calor latente de evapotranspiração deve ser suprido durante os processos de evaporação e transpiração. A temperatura média mensal não é uma medida da energia disponível. Entretanto fórmulas baseadas em correlações com a temperatura têm sido largamente usadas. Desde que a temperatura de uma região é grandemente influenciada pela radiação e pelo calor advectivo, à primeira vista pode parecer razoável esperar que uma fórmula baseada na temperatura local possa ser adaptada de tal forma aos dados experimentais, que a evapotranspiração possa ser calculada a partir dela.

Na literatura anglo-norte-americana sobre o assunto, a fórmula mais usada deste tipo é a de Thornthwaite (1948). Van Wijk *et al.* (1953), fizeram comparações desta fórmula com a de Penman, e discutiram extensivamente o uso de uma correlação com a temperatura para calcular a evaporação. Dêste estudo êstes autôres chegaram a conclusão de que a possibilidade de encontrar uma correlação deste tipo, que possua suficiente e geral validade sobre diversas condições meteorológicas deve ser deixada de lado.

Decidimos portanto optar pelo uso da teoria de Penman afim de termos uma idéia precisa sobre os valores da evapotranspiração no Rio Grande do Sul.

Para uma completa descrição do método de Penman para obter a Evapotranspiração Potencial, a partir de dados meteorológicos como a temperatura, umidade, nebulosidade e velocidade do vento, o leitor deve referir-se ao trabalho original de Penman (1948).

Para calcular a evaporação de uma superfície de água E_0 , Penman desenvolveu a seguinte equação⁴:

$$(1) E_0 = \frac{\Delta H_0 + \phi E_a}{\Delta + \phi}$$

- ⁴ D - Fator que denota a influência do comprimento do dia
- E_0 - Evaporação de uma superfície de água mm/dia
- E_a - Quantidade auxiliar = $0.35 (1 + 0.54 U_2) (e_a - e_d)$ mm/dia
- E_T, E_T' - Evapotranspiração Potencial de acordo com a teoria de Penman mm/dia
- H_0 - Ganho líquido de energia radiante por unidade de superfície de água cal/cm²/dia
- H_T - Ganho líquido de energia radiante por unidade de superfície terrestre cal/cm²/dia
- e_a - Pressão de saturação do vapor na temperatura do ar mm/Hg
- e_d - Pressão de saturação do vapor no Ponto de Orvalho mm/Hg
- L - Calor latente do vapor de água cal/g
- L_a - Comprimento de difusão efetiva no ar ... cm

A evaporação de um solo com vegetação, E_T , é obtida multiplicando E_0 por um fator empírico de redução. Os valores experimentais deste fator foram deduzidos de experimentos realizados em Rothamsted com um certo número de cilindros, alguns cheios de água e outros cheios com solo no qual existia uma cobertura de grama. A relação E_T/E_0 , variou de 0.6 durante os meses de novembro a fevereiro, a 0.8 de maio a agosto, com o valor de 0.7 nos meses restantes. Em um trabalho posterior Penman e Schofield (1951) discutiram a influência da resistência de difusão nos estômatos, e Penman (1952) mostrou que, na base dessas considerações, o valor da evapotranspiração potencial (EP) pode ser encontrado com a seguinte equação:

$$(2) E_T' = \frac{\Delta H_T + \phi E_a}{\Delta + \phi/S D}$$

onde S representa a influência da resistência de difusão nos estômatos quando abertos e D representa a influência do fechamento dos estômatos durante a noite. Recentemente, Bange (segundo Van Wijk *et al.* 1954), mostrou que a evaporação de folhas de *Zebrina pendula* a 21 - 25°C pode ser explicada quantitativamente por esta resistência de difusão. Ainda mais H_T é calculado tomando o coeficiente de reflexão de uma superfície vegetal igual a 0.20, em lugar do valor 0.05 adotado para uma superfície de água.

- L_a - Comprimento de difusão na planta cm
- m - Fração do céu coberto por nuvens -
- n - Duração da insolação h
- N - Comprimento do dia h
- E.P. - Evapotranspiração Potencial mm/dia
- r - Coeficiente de reflexão para a radiação solar
- R_A - Valor de Angot para o fluxo de radiação de onda curta cal/cm²/dia
- R_B - Fluxo de radiação líquida de onda longa na superfície terrestre cal/cm²/dia
- R_C - Fluxo de radiação líquida de onda curta na superfície terrestre cal/cm²/dia
- S - Fator que denota a influência de resistência de difusão -
- T_a - Temperatura absoluta do ar ao nível do abrigo °K
- T_d - Temperatura do ponto de Orvalho ao nível do abrigo °K
- U_2 - Velocidade do vento na altura de 2m m/segundo
- ϕ - Constante psicrométrica = $0.49 \text{ mm Hg}/^\circ\text{C}$
- d_a/d_T mm Hg/°C
- Δ - Condutibilidade térmica do solo cal/cm/dia/°C
- λ - cal/cm/dia/°C
- δ - cal/cm²/dia °K⁴
- \bar{v} - Temperatura média mensal do ar °C

De acordo com Van Wijk e De Vries (1954), nossos valores de E_T foram calculados a partir da equação (2), desde que os fatores empíricos E_T/E_0 obtidos para o sudeste da Inglaterra, podem não ser aplicáveis em outras condições climáticas. Estes valores são indicados como E_T .

Para dar um exemplo do cálculo da evapotranspiração potencial segundo a teoria de Penman vamos tomar os dados meteorológico⁵ do mês de janeiro do município de Bagé, cuja latitude é 31° 21' S.

Partimos para o cálculo com os seguintes dados (Quadro 1):

Temperatura Média do ar ou $\bar{t} = 23^\circ\text{C}$

Umidade Relativa = 0.71%

Velocidade do vento a 2m ou $U_2 = 0.78$

Temperatura Absoluta = 297

No cálculo, a intensidade da radiação solar líquida recebida pela superfície da terra, R_C , e a radiação líquida de onda longa emitida pelo solo, R_B , foi calculada com a ajuda da fórmula semi-empírica dada por Penman (1948)

$$(3) R_C = (1 - r) R_A (0.18 + 0.55 n/N)$$

$$(4) R_B = \delta T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{ed}) (1 - 0.9 m)$$

Para o coeficiente de radiação de onda curta, r , os valores 0.05 e 0.20 são substituídos no cálculo

da E.P. de uma superfície de água, E_0 e uma superfície coberta de vegetação, E_T .

Para obter a Radiação Solar, R_A , que é dada em cal/cm²/dia, usamos a tábua de Angot (1883), que dá os valores mensais da radiação solar. Para o caso de Bagé:

$$R_A = 1056 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$$

A duração média do brilho solar astronômico possível no hemisfério sul, n/N , expresso em unidades de 30 dias de 12 horas cada um, é obtido pela Tabela 3, de Burgos y Vidal (1951) dividido pela Inso-lação; donde $n/N = 0.61$

$$R_C^0 (r = 0.05) = 522 \text{ cal/m}^2/\text{dia}$$

$$R_C^t (r = 0.20) = 439 \text{ cal/m}^2/\text{dia}$$

Para o cálculo da equação (4) o valor da radiação emitida, δT_a^4 , é obtida pela Tabela 129 B, Smithsonian Meteorological Tables, List (1958). Para encontrar a Pressão de Saturação do vapor no ponto de orvalho, usamos a Tabela Psicrométrica de Serra e Serebenick (1938), que fornece a temperatura do termômetro úmido tendo-se a temperatura do termômetro seco e a umidade relativa; sendo 20.2 a temperatura do termômetro úmido, 3.6 a diferença psicrométrica e 23°C a temperatura do termômetro seco, na Tabela de D. Sonntag (editada pela fábrica Fuess) obtemos a Temperatura do Ponto de Orvalho em °C, 18.6; com o auxílio da Tabela 94, Smithsonian Meteorological Tables, List (1958), temos a Pressão de Saturação do vapor no Ponto de

⁵ Os dados meteorológicos usados neste trabalho foram os publicados por Machado (1950).

QUADRO 1. Cálculos da evapotranspiração de acordo com a teoria de Penman, em Bagé (Latitude: 31°21'S)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
\bar{t} (°C).....	23.8	23.2	21.5	18.2	14.9	12.4	12.3	13.2	14.7	16.7	19.8	22.2
AA (°C).....	297	296	295	281	288	285	285	286	289	290	293	295
R_A (cal/m ² /dia).....	1056	958	856	673	519	464	477	609	726	901	1022	1061
$n/N = 1 - m$	0.61	0.61	0.56	0.56	0.54	0.50	0.49	0.50	0.48	0.52	0.60	0.62
R_C (r = 0.05).....	522	473	398	313	237	203	204	266	303	402	495	524
R_C (r = 0.20).....	439	399	336	264	199	171	172	224	256	339	417	441
δT_a^4 (cal/m ² /dia).....	925	809	887	840	806	773	773	784	803	828	863	887
Um. Rel.....	0.71	0.73	0.76	0.79	0.81	0.82	0.81	0.81	0.79	0.77	0.73	0.71
e_a (mmHg).....	22.13	21.30	19.20	15.88	12.68	10.80	10.73	11.40	12.53	14.25	17.33	20.1
e_s (mmHg).....	16.05	15.90	14.78	12.75	10.50	8.93	8.85	9.45	10.13	11.55	12.90	14.55
$m = 1 - n/N$	0.39	0.31	0.44	0.44	0.46	0.50	0.51	0.50	0.52	0.48	0.40	0.38
R_B (cal/m ² /dia).....	111	126	115	118	129	124	124	118	113	124	129	124
H_0 (cal/m ² /dia).....	411	347	283	195	103	79	80	148	190	278	366	400
H_T (cal/m ² /dia).....	328	273	221	146	91	47	48	106	143	215	288	317
L (cal/g).....	583	583	584	586	588	589	589	589	588	587	585	584
Δ (mmHg/°C).....	1.37	1.32	1.20	1.00	0.85	0.71	0.71	0.74	0.83	0.91	1.15	1.26
$\Delta H_0/0.1L$ (mm/dia).....	9.66	7.86	5.82	3.33	1.56	0.95	0.96	1.86	2.68	4.31	7.19	8.63
$\Delta H_T/0.1L$ (mm/dia).....	7.71	6.18	4.54	2.49	1.32	0.57	0.58	1.33	2.02	3.33	5.66	6.84
U_2 (2m/sec).....	0.78	0.66	0.89	0.60	0.69	0.72	0.78	0.84	0.84	0.81	0.81	0.78
e_a (mm/dia).....	3.02	2.57	2.12	1.35	1.05	0.91	0.93	0.99	1.22	1.36	2.23	2.76
αE_a	1.48	1.26	1.04	0.66	0.51	0.45	0.46	0.49	0.60	0.67	1.09	1.35
L_a (cm).....	0.92	0.88	0.89	0.86	0.89	0.90	0.92	0.94	0.94	0.94	0.94	0.92
S	0.85	0.85	0.85	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
N (h).....	14.4	12.4	12.7	11.4	10.9	10.1	10.7	11.5	12.0	13.4	13.7	14.6
D	0.61	0.53	0.54	0.49	0.46	0.43	0.46	0.49	0.51	0.67	0.58	0.61
$\Delta H_0/0.1L + E_a$	11.14	9.12	6.86	3.99	2.07	1.40	1.42	2.35	3.28	4.98	8.28	9.98
$\Delta H_T/0.1L + E_a$	9.19	7.44	5.58	3.15	1.83	1.02	1.04	1.82	2.62	4.00	6.75	8.19
$\Delta + \alpha$	1.86	1.81	1.69	1.49	1.34	1.20	1.20	1.23	1.32	1.40	1.64	1.75
$\Delta + \alpha/S.D.$	2.31	2.41	2.27	2.20	2.11	2.03	1.97	1.91	1.97	1.93	2.14	2.20
E_0 (mm/dia).....	5.99	5.04	4.06	2.68	1.64	1.17	1.18	1.91	2.48	3.56	5.05	5.70
E_0 (mês).....	186	142	126	80	48	35	37	59	74	110	152	177
E_0 (mês x f).....	149	114	88	56	29	21	22	35	52	77	122	142
E_T (mm/dia).....	3.98	3.09	2.46	1.43	0.87	0.50	0.53	0.95	1.33	2.07	3.15	3.72
E_T (mm/mês).....	123	87	76	43	27	15	16	29	40	64	95	115

Orvalho 21,4 mb. Usando a tabela 12 Smithsonian Meteorological Tables, List (1958), temos o valor $e_d = 16.15$ mmHg; para obter o valor da fração de céu coberto por nuvens, m , basta usar a fórmula $m = 1 - n/N$, donde $m = 0.39$. Portanto,

$$R_B = 111 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$$

$$H_O = R_C^O T - R_B \cdot H_O = 411 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$$

$$H_T = R_C - R_B \cdot H_T = 328 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$$

$$\Delta H_O/0.1 \text{ L} = 9.66$$

$$\Delta H_T/0.1 \text{ L} = 7.71$$

onde o calor latente, L , é obtido da tabela da página 2046, Handbook of Chemistry and Physics, editado por Hodgman (1951).

$$\oint E_a (u_2 = 2\text{m/seg}) = 1.48, \text{ sendo}$$

$$E_a = 0.35 (1 + 0.54 u_2) (e_a - e_d)$$

Para se encontrar e_a , usamos as tabelas 94 e 12, Smithsonian Meteorological Tables, List (1958), respectivamente.

Os valores de S e D , são calculados pelas seguintes equações (Penman & Schofield 1951):

$$S = L_a / (L_a + L_g)$$

$$L_a = 0.65 (1 - 0.54 u_2)$$

$$D = \frac{N}{24} + \frac{Ta (\text{máx.}) - Ta (\text{mín.})}{2 \pi (\bar{T}_a - T_d)} \text{ sen } \frac{N \pi}{24}$$

Penman deu 0,1 como o provável valor de L_g , e este valor foi usado em todos os seus cálculos. Para a proporção $\{T_a (\text{máx.}) - T_a (\text{mín.})\} / (T_a - T_d)$ o valor 2 tem sido substituído. Este valor fornece uma razoável estimativa, e possíveis desvios não terão efeitos significantes nos valores resultantes de E_T .

Finalmente, de posse de todos os dados, podemos calcular a Evapotranspiração Potencial, segundo Penman, para uma superfície de água, E_O , ou para uma superfície coberta de vegetação, para a localidade de Bagé, cujos valores são:

$$E_O/\text{mês} = 186 \text{ mm}$$

$$E_T'/\text{dia} = 3.98 \text{ mm}$$

$$E_T'/\text{mês} = 123 \text{ mm}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Evapotranspiração Potencial anual no Rio Grande do Sul, ou seja, a necessidade de água para as culturas quando estas estão em ativo crescimento, cobrem completamente o solo e nunca lhes falta o necessário suprimento de água, varia de 922 mm em São Luiz Gonzaga nas Missões, a 419mm em Ca-

xias do Sul na Serra do Nordeste. Os valores mais altos ocorrem nas Missões, na Depressão Central e no Vale do Uruguai. Os mais baixos ocorrem na Serra do Nordeste e na Serra do Sudeste. Valores intermediários ocorrem na Campanha, no Litoral e no Planalto.

O crescimento da vegetação está intimamente relacionado com os valores da Evapotranspiração Potencial, pois esta representa, além da necessidade de água, também unidades de crescimento. Assim é, que quanto maior o valor da Evapotranspiração Potencial maior é o crescimento apresentado pelas plantas. A Evapotranspiração Potencial no Rio Grande do Sul é máxima em janeiro e mínima em junho. No verão os valores mais elevados ocorrem nas Missões e os mais baixos na Serra do Nordeste. Com exceção de ter dezembro como o mês de maior evapotranspiração, em todas as localidades o mês de máxima evapotranspiração é janeiro. Durante o inverno, nas Missões, na Depressão Central e em algumas regiões do Planalto a evapotranspiração apresenta-se relativamente alta, superando 20 mm nos meses de junho e julho; nesta época do ano no resto do Estado, ela não chega a 20 mm.

Considerando os valores anuais, observa-se que em todo o Estado a chuva supera a Evapotranspiração Potencial. Entretanto a distribuição estacional da evapotranspiração, a qual é muito maior no verão do que no inverno, com valores intermediários no outono e na primavera, aliado ao fato de que a precipitação é praticamente igual nas quatro estações do ano, faz com que ocorram épocas de excesso e deficiência de chuva. Isto pode ser observado nos gráficos que figuram neste trabalho. Na Serra do Nordeste, no Planalto e no centro da Depressão Central (Santa Maria), não ocorrem deficiências de água, sendo normal o excesso de água durante todo o ano.

As chuvas de relêvo são responsáveis pelo excesso que ocorre durante todo o ano na Serra do Nordeste. Os frequentes encontros da Massa Tropical Continental com a Massa Tropical Atlântica nas imediações de Santa Maria, que dão lugar à formação de chuvas frontais, são responsáveis pelo excesso de chuvas no centro da Depressão Central.

No Planalto as chuvas frontais e as chuvas de relêvo são responsáveis, cada uma com seu quinhão, pelo excesso de chuvas durante todo o ano.

A enorme variabilidade das chuvas de um ano para outro, pode ocasionar na região do Planalto e no centro da Depressão Central, durante o verão, e raramente em outra estação do ano, ocorrência de secas.

Já na Serra do Nordeste, devido aos baixos valores da Evapotranspiração Potencial, dificilmente ocorrem sêcas em qualquer estação do ano.

No Baixo Vale do Uruguai, na Campanha, no Litoral e no leste e oeste da Depressão Central, os valores da Evapotranspiração Potencial de outubro a fevereiro são superiores à precipitação.

Na Serra do Sudeste, apenas um mês — dezembro — apresenta evapotranspiração superior à precipitação. Nas Missões, dezembro e janeiro são normalmente sêcos.

Com excessão dos meses de verão apontados, as regiões da Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Vale do Uruguai, Missões e regiões leste e oeste da Depressão Central, apresentam precipitação superior a evapotranspiração durante o resto do ano (outono, inverno e primavera).

Dentro de uma mesma região a duração da sêca é variável conforme a localidade.

No leste da Depressão Central e no Litoral a sêca é longa e de grande intensidade.

Nas Missões, a sêca é curta, mas muito intensa, ocorrendo normalmente em janeiro.

Na Serra do Sudeste a sêca é curta e fraca, ocorrendo normalmente em dezembro.

O Quadro 2 resume o aspecto normal da sêca no Estado do Rio Grande do Sul.

QUADRO 2. Época e intensidade da sêca no Rio Grande do Sul

Regiões	Época da sêca	Intensidade da sêca
Baixo Vale do Uruguai...	Nov. Dez. Jan. Fev.	Média
Campanha.....	Nov. Dez. Jan.	Média
Litoral.....	Out. Nov. Dez. Jan.	Muito forte
Leste da Depressão Central.	Nov. Dez. Jan. Fev.	Forte
Oeste da Depressão Central.	Nov. Dez. Jan. Fev.	Média
Serra do Sudeste.....	Dez.	Fraca
Missões.....	Dez. Jan.	Média

O Rio Grande do Sul é um Estado que certamente não pode ser chamado de sêco. Entretanto déficits de precipitação prejudiciais à agricultura são mais ou menos freqüentes. Embora as culturas possam sofrer com a sêca, na grande maioria dos casos uma escolha criteriosa da época de plantio resolve o problema. É principalmente nas pastagens nativas que a sêca causa os maiores prejuízos.

Estas considerações basearam-se nos dados de 12 localidades bem distribuídas em todo o Estado, que apesar de seu pequeno número, representam a grande maioria dos climas do Estado.

Discrepâncias poderão ser observadas, principalmente em situações topográficas especiais, como por exemplo, nos grandes Vales (Camaquã) e nos pontos culminantes de Divisões de água (Erechim, Chapada, etc.).

É óbvio que as sêcas e os excessos de água, apesar de dependerem fundamentalmente das condições climáticas, apresentam estreitas relações com o tipo de solo. Assim, devemos acrescentar que a intensidade das sêcas e dos excessos de água sob as mesmas condições climáticas, dependerão do tipo de solo.

O pequeno número de estações considerado deve-se ao fato de que apenas nelas existem os dados meteorológicos necessários ao cálculo da Evapotranspiração Potencial pelo método de Penman, único que, atualmente, fornece valores razoáveis.

O leitor poderá avaliar o método de Penman, em relação a outros métodos, pela literatura especializada que existe sobre o assunto.

No Quadro 3 figuram os valores calculados, da Evapotranspiração Potencial, no Rio Grande do Sul (Figs. 1 a 4).

QUADRO 3. Evapotranspiração Potencial no Rio Grande do Sul (Segundo o método de Penman)*

Regiões e localidades	Meses												Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Agôs.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Campanha													
Bagé.....	123	87	76	43	27	15	16	29	40	64	95	115	730
Serra do Sudeste													
Encruzilhada do Sul.....	105	84	65	39	22	14	15	29	42	58	82	103	659
Litoral													
Santa Vitória do Palmar....	132	100	75	41	17	10	12	24	38	66	95	114	724
Rio Grande.....	120	87	73	47	25	14	16	28	44	66	92	115	737
Pelotas.....	123	90	86	44	25	15	17	33	40	69	101	122	765
Depressão Central													
Porto Alegre.....	111	89	76	46	22	16	19	31	46	66	88	142	762
Santa Maria.....	131	102	88	51	28	18	21	35	46	78	104	127	829
Vale do Uruguai													
Uruguiana.....	130	100	85	45	24	16	17	32	46	75	101	125	794
Missões													
São Luiz Gonzaga.....	172	110	94	53	31	22	23	41	50	80	112	134	822
Planalto													
Cruz Alta.....	112	90	73	49	30	20	24	39	45	70	90	112	754
Passo Fundo.....	112	87	69	40	20	14	17	25	26	66	91	108	675
Serra do Nordeste													
Caxias do Sul.....	65	47	42	27	12	8	11	19	25	43	55	65	419

* Valores em mm.

QUADRO 4. Precipitação no Estado do Rio Grande do Sul*

Regiões e localidades	Meses												Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Agôs.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Campanha													
Bagé.....	109	110	102	114	139	142	113	125	161	110	92	97	1 414
Serra do Sudeste													
Encruzilhada do Sul.....	122	108	106	143	155	166	162	155	165	130	100	94	1 606
Litoral													
Santa Vitória do Palmar....	92	105	120	122	109	110	95	106	93	90	62	82	1 186
Rio Grande.....	95	122	104	106	115	117	116	118	115	99	76	69	1 252
Pelotas.....	109	120	106	102	101	121	106	122	126	102	77	85	1 277
Depressão Central													
Pôrto Alegre.....	102	89	93	118	125	130	123	134	123	101	92	92	1 322
Santa Maria.....	144	140	129	157	191	163	135	145	183	152	121	129	1 769
Vale do Uruguai													
Uruguaiana.....	125	92	139	167	129	102	68	77	100	135	101	121	1 356
Missões													
São Luiz Gonzaga.....	141	122	162	187	181	170	125	120	158	180	132	138	1 816
Planalto													
Cruz Alta.....	148	133	140	167	186	164	138	160	187	161	143	137	1 864
Passo Fundo.....	151	111	122	127	173	170	138	143	180	147	116	129	1 707
Serra do Nordeste													
Caxias do Sul.....	148	134	152	139	161	176	156	168	182	136	140	129	1 821

* Valores normais em mm.

Apesar de bem conhecidos, fornecemos no Quadro 4 os valores de precipitação nas mesmas localidades, a fim de que o leitor não precise consultá-los em outra fonte (Figs. 1 a 4).

CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração potencial anual no Rio Grande do Sul, ou seja, necessidade de água para as

culturas, apresenta os valores mais elevados nas Missões, Depressão Central e Vale do Uruguai; os mais baixos na Serra do Nordeste e na Serra do Sudeste e valores intermediários na Campanha, Litoral e Planalto.

2. Com exceção de Pôrto Alegre que apresenta a evapotranspiração máxima em dezembro, tôdas as outras localidades apresentam evapotranspiração máxima em janeiro, e mínima em junho.

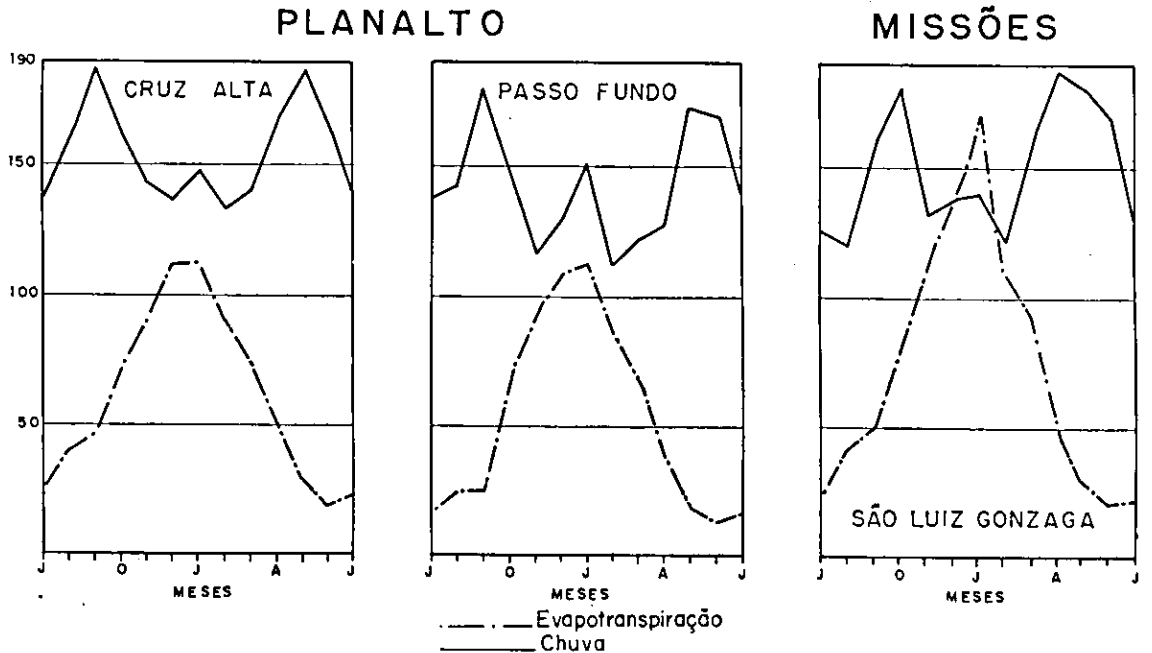


FIG. 1. Evapotranspiração e precipitação nas regiões Planalto e Missões do Rio Grande do Sul.

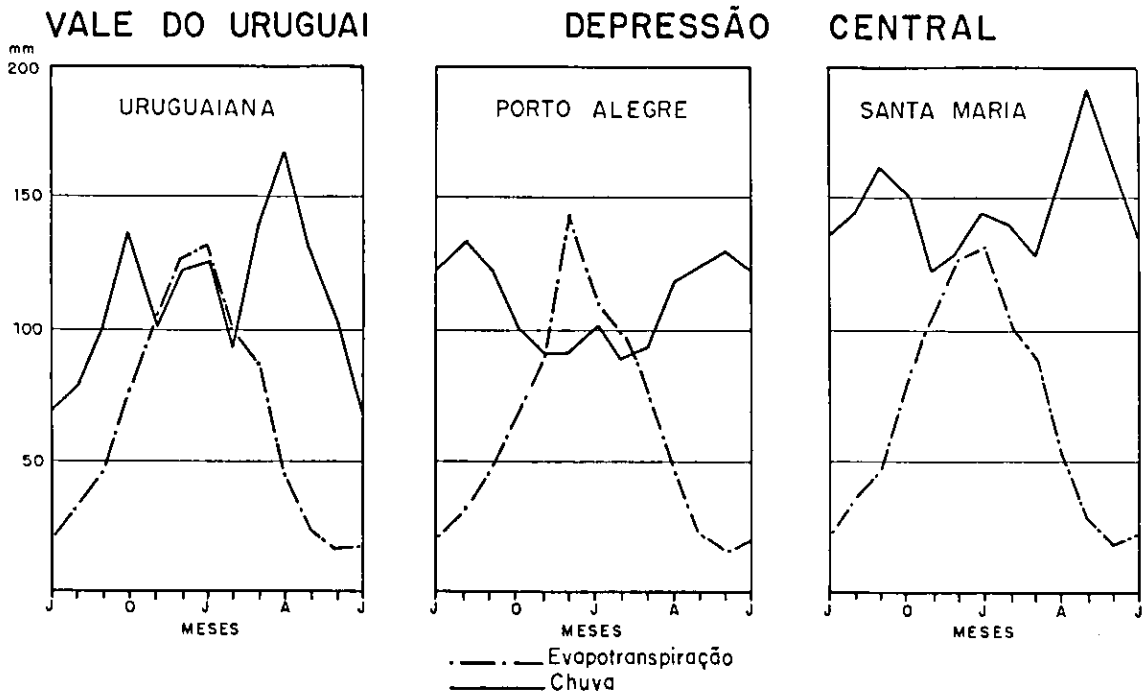


FIG. 2. Evapotranspiração e precipitação nas regiões do Uruguai e Depressão Central do Rio Grande do Sul.

3. Os valores anuais de chuva no Estado superam os valores da evapotranspiração; entretanto; considerando-se a distribuição estacional de evapotranspiração, a qual é muito maior no verão do que no inverno, com valores intermediários na primavera e outono, aliado ao fato de que a distribuição de

chuva é praticamente igual nas quatro estações do ano, faz com que ocorram épocas de excesso e deficiência de chuva.

4. Na Serra do Nordeste, no Planalto e no centro da Depressão Central, normalmente não ocorre deficiência de água, havendo excesso durante todo

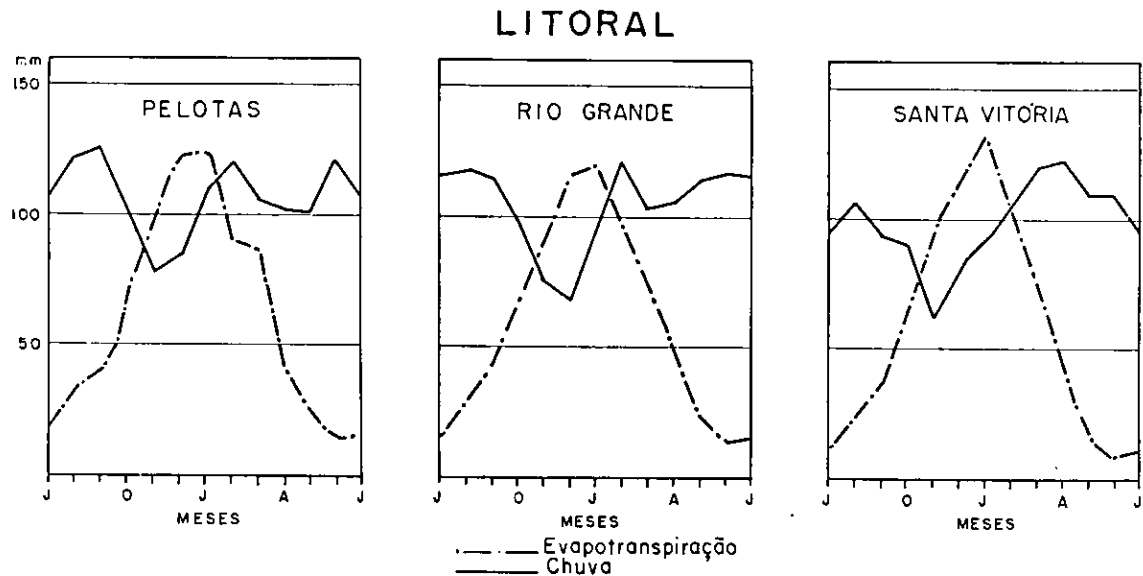


FIG. 3. Evapotranspiração e precipitação na região Litoral do Rio Grande do Sul.

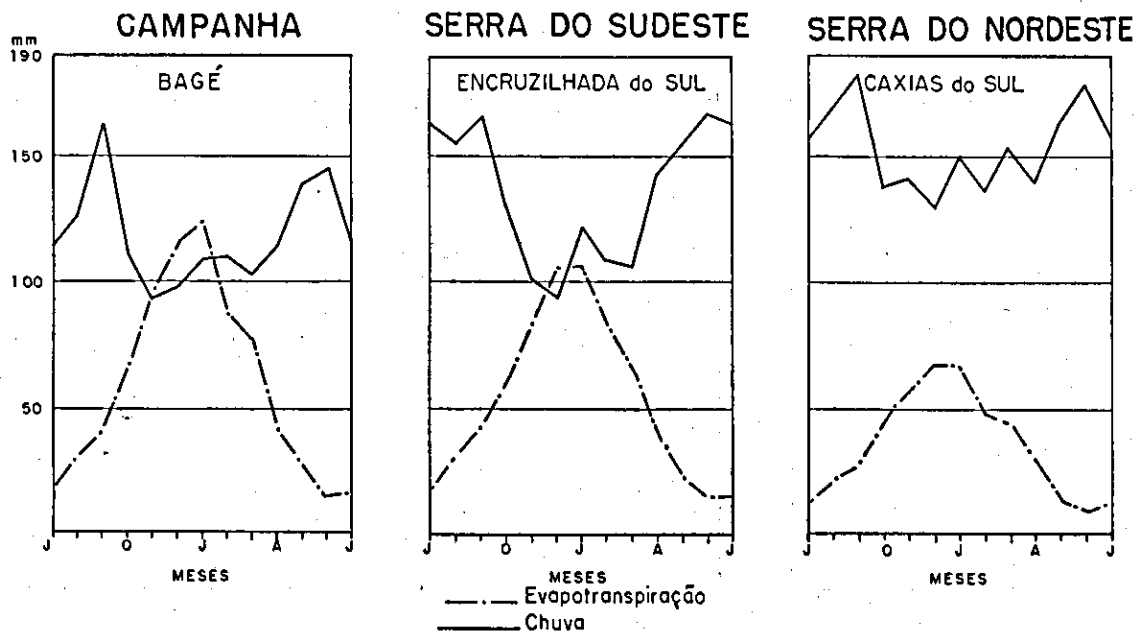


FIG. 4. Evapotranspiração e precipitação nas regiões Campanha, Serra do Sudeste e Serra do Nordeste do Rio Grande do Sul.

o ano; entretanto, a enorme variabilidade das chuvas de um ano para outro, pode ocasionar durante o verão, ocorrência de secas nas regiões do Planalto e centro da Depressão Central, em alguns anos.

5. No Baixo Vale do Uruguai, na Campanha, no Litoral e leste e oeste da Depressão Central, os valores da Evapotranspiração Potencial superam os valores da precipitação nos meses de outubro a fevereiro.

6. Na Serra do Sudeste apenas em dezembro a Evapotranspiração Potencial supera a precipitação.

7. Nas Missões, dezembro e janeiro são normalmente secos.

8. As regiões da Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Vale do Uruguai, Missões e leste e oeste da Depressão Central apresentam precipitação superior à evapotranspiração durante o outono, inverno e primavera.

9. No leste da Depressão Central e no Litoral a seca é longa e de grande intensidade; nas Missões a seca é curta, mas muito intensa, ocorrendo normalmente em janeiro, na Serra do Sudeste a seca é curta e fraca, ocorrendo geralmente em dezembro.

REFERÊNCIAS

Albrecht, F. 1950. Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Archiv f. Meteor. Geophys. u. Bioklim. B 2:1.

- Angot, A. A. 1883. Bur. Cent. Met., Paris, B 1:136-61.
- Burgos, J. J. & Vidal, A. L. 1958. Los climas de la Republica Argentina segun la nueva clasificación de Thornthwaite. Meteoros, Buenos Aires, 1 (1).
- Camargo, A. P. de 1960. Balanço hídrico de São Paulo. Boletim 116 do Instituto Agrônomico, Campinas, São Paulo.
- Hodgman, C. D. 1952. Handbook of Chemistry and Physics. Chemical Rubger Publishing Co.; Ohio.
- Leeper, G. W. 1950. Thornthwaite's climatic formula. J. Austr. Inst. Agric. Sci. 16.
- List, R. J. 1958. Smithsonian Meteorological Tables. Smithsonian Institution.
- Machado, F. P. 1950. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Inst. Bras. Geogr. Estat., Rio de Janeiro.
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. A 193.
- Penman, H. L. 1952. The physical basis of irrigation control. Proc. 13th Int. Hort. Congr., London.
- Penman, H. L. & Scheffeld, R. K. 1951. Some physical aspects of assimilation and transpiration. Symposia Sec. Exp. Biol. 5: 115.
- Serra, A. & Serebenick, S. 1938. Tabelas psicrométricas. Divisão de Meteorologia, Ministério da Viação e Obras Públicas, Rio de Janeiro.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational Classification of climate. Geogr. Rev. 38:55.
- Wijk, W. R. et alii. 1953. Potencial evapotranspiration. Neth. J. Agr. Sci. 1:35.
- Wijk, W. R. & De Vries D. A. 1954. Evapotranspiration. Neth. J. Agr. Sci. 2 (2).

THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION OF THE DIFFERENT CLIMATIC REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL

Abstract

The objective of this work was to know the Potential Evapotranspiration of the different climatic regions of Rio Grande do Sul, with the aim of determining the water disponibilities for agriculture in each region.

The authors chose Penman's theory in order to have an precise idea about the amounts of Evapotranspiration in Rio Grande do Sul. An example of the calculus of the Evapotranspiration figures is presented.

The annual Potential Evapotranspiration in Rio Grande do Sul, or in other words, the water needs for crops, presents the highest values in Missões, Depressão Central and Vale do Uruguai, and the lowest in Serra do Nordeste and Serra do Sudeste, and intermediate values in Campanha, Litoral and Planalto.

Excetuating Pôrto Alegre which presents it's maximum Evapotranspiration in December, the other localities present it's maximum Evapotranspiration in January. For all localities the minimum is in June.

The annual precipitation in the state boast Evapotranspiration; nevertheless, if we consider the seasonal distribution of Evapotranspiration, which is much greater in summer than in winter, with intermediate values in spring and fall, plus the fact that the precipitation is the same in all seasons, we could see that there are times of water deficiency and excess.

In Serra do Nordeste, Planalto, and center of Depressão Central normally there is no water deficiency, but water excess all the year around; nevertheless, the enormous variability of precipitation from year to year can cause drought in summer in the Planalto and center of Depressão Central regions, in some year.

In Baixo Vale do Uruguai, Campanha, Litoral and east and west of Depressão Central, the Evapotranspiration is higher than precipitation from October to February.

In Serra do Sudeste only in December the Evapotranspiration is higher than precipitation.

In Missões December and January are normally dry.

The regions of Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Vale do Uruguai, Missões and east and west of Depressão Central presents precipitation higher than Evapotranspiration in fall, winter and spring.

About the drought intensity in the different regions the conclusions are: In the east of Depressão Central and Litoral we have long and intense drought; in Missões, short and intense drought, which occurs in January; in Serra Sudeste the drought is short and weak, occurring in December.