

MÉTODOS CLIMATOLÓGICOS PARA AVALIAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Edemar José Scalopi

Engenheiro Agrônomo

Prof. Eneas Salati

Orientador

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura «Luiz de Queiroz» da
Universidade de São Paulo, para obten-
ção do título de Mestre.

PIRACICABA

Estado de São Paulo — Brasil

1972

A minha mãe

À memória de meu pai

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Eneas Salati, pela orientação geral dêste trabalho.

Aos Professôres Nilson Augusto Villa Nova, Antonio Evaldo Klar, Rubens Scardua, Antonio Tubelis e Humberto de Campos, pelas sugestões e apresentadas.

Aos Professôres Antonio de Pádua Sousa, Carlos Roberto Espíndola, Paulo Rodolfo Leopoldo, Yediro Masuda e Zilmar Ziller Marcos, pela colaboração oferecida.

Aos Srs. Honorato F. Moraes e Rodolfo do Amaral pelos dados de unidade do solo obtidos.

Ao Sr. Ângelo Minetto pelos trabalhos de campo desenvolvidos.

Ao Sr. José Garcia M. Pires pelos trabalhos datilográficos realizados.

Ao Departamento de Física e Matemática da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu - pelos dados meteorológicos fornecidos.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas pelas facilidades

concedidas e finalmente, a tantos quan
tos, de uma forma ou de outra, concorreram para a realização dêste trabalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 - <u>Determinação da evapotranspiração</u>	5
2.1.1 - Métodos de balanço de água	5
2.1.1.1 - Estudos hidrológicos em ba-	
cias hidrográficas	6
2.1.1.2 - Variação na umidade do solo .	6
2.1.1.3 - Lisimetria	7
2.1.2 - Método de balanço de energia	8
2.1.3 - Métodos de transferência de vapor	10
2.1.4 - Relações climatológicas empíricas	13
2.1.4.1 - Métodos baseados em estimati-	
vas do balanço de energia e -	
transferência de vapor	14
2.1.4.2 - Métodos baseados na radiação	
solar ou na radiação líquida.	16
2.1.4.3 - Métodos baseados na temperatu	
ra média do ar	16
2.1.4.4 - Métodos baseados na umidade -	
relativa do ar	19
2.1.4.5 - Métodos baseados em determina	
ções evaporimétricas	20
3 - MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 - <u>Material</u>	23
3.1.1 - Solo	23
3.1.1.1 - Propriedades morfológicas.	23
3.1.1.2 - Propriedades físicas	25
3.1.1.3 - Propriedades químicas	26
3.1.1.4 - Relações com a água	26
3.1.2 - Cultura	27
3.1.3 - Dados meteorológicos	27
3.1.3.1 - Precipitação pluviométrica ..	27

	<u>Página</u>
3.1.3.2 - Radiação solar	27
3.1.3.3 - Insolação	28
3.1.3.4 - Temperatura do ar	28
3.1.3.5 - Umidade relativa do ar	28
3.1.3.6 - Velocidade do vento	28
3.1.3.7 - Evaporímetro	28
3.1.4 - Umidade do solo e irrigação	29
3.2 - <u>Métodos</u>	29
3.2.1 - Delineamento experimental	29
3.2.2 - Instalação	34
3.2.3 - Determinação da umidade do solo	34
3.2.4 - Procedimento da irrigação	35
3.2.5 - Determinação da evapotranspiração	36
3.2.6 - Estimativas da evapotranspiração	37
3.2.6.1 - Emprêgo da fórmula de Penman.	37
3.2.6.2 - Emprêgo da fórmula de Thorn- thwaite	39
3.2.6.3 - Emprêgo da fórmula de Blaney- Criddle	39
3.2.6.4 - Dados de radiação solar e eva- poração do tanque Classe A ..	40
3.2.7 - Métodos de análise	40
3.2.7.1 - Estudos de correlação simples entre a evapotranspiração me- dida e as estimativas	40
3.2.7.2 - Produção	41
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 - <u>Evapotranspiração medida</u>	42
4.2 - <u>Evapotranspiração estimada</u>	49
4.3 - <u>Estudos de correlação e fatores de conversão</u> ..	49
4.3.1 - Evapotranspiração medida (E) versus es- timada pela fórmula de Penman (EP)	51
4.3.2 - Evapotranspiração medida versus estima- da pelos métodos de temperatura média .	52

4.3.3 - Evapotranspiração medida (E) versus radiação solar (Rs)	55
4.3.4 - Evapotranspiração medida (E) versus evaporação do tanque Classe A (Eo)	56
4.4 - <u>Produção</u>	58
4.4.1 - Relações com a evapotranspiração	59
4.4.2 - Classificação dos tubérculos	60
4.4.3 - Número de tubérculos	61
5 - CONCLUSÕES	63
6 - RESUMO	66
7 - SUMMARY	69
8 - BIBLIOGRAFIA CITADA	72
9 - APÊNDICE	80

Q U A D R O S

I - Análise mecânica do perfil do solo	25
II - Valores médios de capacidade de campo (CC), ponto de murchamento permanente (PMP) e peso específico aparente (Da) do solo	25
III - Análise química do solo	26
IV - Níveis mínimos médios de umidade do solo, em 40cm e profundidade, para os tratamentos de irrigação	34
V - Evapotranspiração medida (E) correspondente ao tratamento 1	43
VI - Evapotranspiração medida (E) correspondente ao tratamento 2	44
VII - Evapotranspiração medida (E) correspondente ao tratamento 3	45
VIII - Evapotranspiração estimada, dados de radiação solar e evaporação do tanque Classe A	49
IX - Produção em gramas por parcela	58

Q U A D R O S

	<u>Página</u>
X - Classificação da produção em gramas de tubérculos - por tratamento	61
XI - Número de tubérculos produzidos por parcela	62

F I G U R A S

1 - Aspecto da área experimental	30
2 - Equipamento para determinação do pêsco específico apa- rente do solo	31
3 - Dispositivo para determinação da capacidade de can- po do solo	31
4 - Trado e recipiente de amostragem para determinação - do teor de unidade do solo	30
5 - Curva característica de unidade do solo	32
6 - Esquema do delineamento experimental e localização - do pôsto meteorológico	33
7 - Equipamento e método de irrigação	30
8 - Relações entre a evapotranspiração medida e a estima- da pelo método de Penman (E/EP) durante o ciclo de - crescimento da cultura	47
9,10 e 11 - Aspecto do desenvolvimento vegetativo e grau de co- bertura da superfície do solo aos 80 dias após o - plantio, nos tratamentos 1,2 e 3	48

A P Ê N D I C E

	<u>Página</u>
1 - Dados meteorológicos dos dias 25 a 30 do mês de junho e do mês de julho - 1971	1
2 - Dados meteorológicos do mês de agosto - 1971	2
3 - Dados meteorológicos do mês de setembro - 1971	3
4 - Nomograma para cálculo da evapotranspiração potencial, não ajustada, pela fórmula de Thornthwaite.....	4

T A B E L A S

1 - Valores de Δ / γ entre 1°C e 40°C, para o cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Penman ...	5
2 - Tensão máxima do vapor (e_s), sobre água, em mm de Hg.	6
3 - Valores de N - Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus sul. Os valores correspondem ao 15º dia de cada mês.....	7
4 - Porcentagem mensal de horas possíveis de insolação em relação ao total anual. Valores de p empregados na equação de Blaney-Criddle para o cálculo do uso consuntivo, para as latitudes compreendidas entre 10 graus norte e 40 graus sul	8

I - INTRODUÇÃO

A finalidade precípua da irrigação é impedir - que as culturas sofram défices de água. Segundo VISSER - (1964), a disponibilidade de água para uma cultura pode melhor ser definida, pelo intervalo de tempo no qual o clima permitirá à planta, manter uma razão de transpiração igual a razão de absorção de água pelas raízes. Enquanto as - plantas forem capazes de absorver água à mesma razão com - que perdem, não haverá défice. Entretanto, havendo um atraso na absorção em relação às perdas, surgirão défices - que podem reduzir, irreversivelmente, a produção potencial das culturas.

A razão de perda d'água pelas culturas ou a razão de evapotranspiração, determina o intervalo entre irri-
gações e concorre diretamente para se estabelecer a quanti-
dade de água a ser aplicada.

Conhecendo-se a evapotranspiração, pode-se tam-
bém caracterizar melhor os climas regionais, com a
finalidade de definir zonas agroclimáticas.

Estas aplicações parecem justificar plenamente os estudos dos fenômenos envolvidos neste processo e os esforços desenvolvidos para sua determinação.

Existem muitos métodos propostos para avaliar a perda d'água de superfícies naturais que, apesar de numerosos, nem sempre reúnem precisão, simplicidade e baixo custo. Alguns apresentam ainda incertezas teóricas ou, - inúmeras dificuldades práticas.

A escolha do método depende, primariamente, da finalidade das determinações e dos recursos técnicos e materiais disponíveis. ROBINS e HAISE (1961) admitem três objetivos para estas determinações:

a - em projetos de irrigação, onde se exige razoável precisão da evapotranspiração anual ou estacional;

b - em sistemas de irrigação, para uma estimativa mais precisa da razão máxima de uso d'água pela cultura;

c - para prever a frequência de irrigação e estabelecer a quantidade de água a ser aplicada, a partir - de estimativas precisas para curtos períodos.

A despeito das dificuldades práticas e instrumentais dos métodos de determinação direta ou indireta, - existem inúmeras relações empíricas para estimar a evapotranspiração, a partir de dados climatológicos padronizados e facilmente disponíveis em muitos locais. Mesmo sen

fisicamente imperfeitas, estas relações têm se mostrando

adequadas para esta estimativa, em condições muito variáveis de solo, planta e clima.

O objetivo principal deste trabalho é encontrar as correlações e os respectivos coeficientes de proporcionalidade entre a evapotranspiração medida, as esti

mativas obtidas a partir de relações climatológicas empíricas, bastante difundidas em áreas irrigadas, representadas pelos métodos de Penman, Thornthwaite e Blaney-Criddle e, os dados de radiação solar e tanque Classe A.

Parece haver uma tendência crescente em adotar estes métodos, principalmente em áreas onde não se dispõe de equipamentos e recursos adequados de medida. Escolheu-se para tais estudos uma cultura de batata, submetida a três regimes de umidade no solo onde, paralelamente, pretende-se verificar as relações entre a evapotranspiração e a produção.

A possibilidade desta cultura ser desenvolvida em qualquer época do ano, nas condições climáticas da região centro-sul brasileira, acentua a importância da irrigação, principalmente no período caracterizado por reduzidas precipitações pluviométricas, quando ocorre a seca edafológica estacional.

As relações propostas, uma vez obtidas, tornam-se adequadas para predizer as necessidades de água e estabelecer a frequência de irrigação para uma cultura, desenvolvendo-se em condições de solo, clima e planta semelhantes.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

O termo evapotranspiração, aqui empregado, está de acôrdo com a definição da Soil Science Society of America, e refere-se a água perdida da superfície do solo por evaporação e transpiração. Quando a vegetação cobre completamente o solo, esta superfície localiza-se na interface planta-ar. Não havendo vegetação, ela se retrai à interface solo-ar.

A Comissão de Meteorologia Agrícola da Organização Mundial de Meteorologia (WMO), definiu evapotranspiração potencial, como sendo a quantidade de água que evapora do solo e das plantas, quando o solo está na capacidade de campo. Alguns autores, como PENMAN (1956a), acrescentam que a cultura deve ter porte baixo, estar em fase de crescimento ativo e cobrir completamente a superfície do solo. Qualquer discordância nestas características, condiciona a evapotranspiração real.

O termo uso consuntivo, definido por BLANEY e CRIDDLE (1966), será considerado aqui, como sinônimo de evapotranspiração.

As interrelações dos fenômenos envolvidos no processo evaporativo de superfícies naturais, parecem ter natureza complexa.

Muitos pesquisadores admitem que a evapotranspira -

ção de uma cultura, com adequado suprimento de umidade, eleva-se a um valor máximo, que depende primariamente do clima (THORNTHWAITE, 1948; Van WIJK e de VRIES, 1954; EAGLEMAN e DECKER, 1965).

Por outro lado, LEMON e outros (1957), DENMEAD e SHAW (1962) e GAVANDE e TAYLOR (1967) concluíram que a evapotranspiração é uma função do solo, planta e fatores meteorológicos.

A identificação dos fatores implicados tem revelado o acentuado dinamismo deste complexo sistema de transferência de água, onde variáveis puramente físicas interagem com variáveis biológicas, determinando o retôrno da água à atmosfera, como parte do ciclo hidrológico.

2.1 - Determinação da evapotranspiração

A maior parte dos métodos atualmente disponíveis para avaliar a evapotranspiração; baseia-se em determinações edafológicas ou, através de relações com parâmetros meteorológicos. Estes métodos acham-se envolvidos em quatro aproximações gerais:

- a - balanço de água
- b - balanço de energia
- c - transferência de vapor
- d - relações climatológicas empíricas

2.1.1 - Métodos de balanço de água

O balanço de água no solo, a uma profundidade z , durante um intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$, pode ser representado pela equação (1) (SLATYER, 1967):

$$\int_{t_1}^{t_2} [(P - O) - E - V_z] dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^z (\partial \theta / \partial z) dz dt \quad (1)$$

onde: P representa a precipitação e irrigação; O, o deflúvio de superfície e sub-superfície; E, a evapotranspiração; V_z , o fluxo

descendente líquido de água à profundidade z e, θ , representa o teor volumétrico médio de água na camada de solo considerada.

Geralmente os termos da equação (1), exceto E , podem ser medidos ou estimados e o valor de E , obtido por diferença.

Durante períodos sem chuva ou irrigação, a equação (1) se reduz a:

$$\int_{t_1}^{t_2} E dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^z (\partial \theta / \partial z) dz dt \quad (2)$$

Nêste caso, o fluxo insaturado da água no solo é desprezado, o que não constitui erro apreciável na maioria das vezes, e a equação simplificada, apresenta inúmeras vantagens práticas.

Os métodos apresentados a seguir serão analisados nos termos da equação (1).

2.1.1.1 - Estudos hidrológicos em bacias hidrográficas.

Aplicam-se para grandes áreas, proporcionando estimativas para longos períodos. Nêste método, z pode estender-se ao nível do lençol freático e sua variação no intervalo de tempo considerado será proporcional a Vz , podendo assumir valores positivos.

Pela natureza das determinações, êste método pode fornecer apenas estimativas grosseiras da evapotranspiração, sendo inadequado para fins de irrigação.

2.1.1.2 - Variação na umidade do solo

É um método conveniente, quando as condições permitem desprezar P, O e Vz da equação (1) e calcular a evapotranspiração a partir das variações no valor de θ (equação 2;

A precisão obtida nem sempre justifica as inúmeras dificuldades - *práticas encontradas na sua utilização.*

O teor de umidade do solo pode ser de terminado diretamente, por diferenças de peso entre as amostras - úmidas e secas em estufa a 105°C (método gravimétrico padrão) ou, indiretamente, por moderação de neutrons, radiação gama, blocos - de resistência elétrica, tensiômetros, psicrômetros de par termoelétrico e outros. Um grande inconveniente, é que todos êstes métodos fornecem apenas, dados de pontos ou volumes reduzidos de solo e, para serem representativos de uma determinada área, requerem um grande número de repetições, devido a acentuada e frequente - anisotropia observada nos solos.

BAIER (1965) concluiu que, apesar dos aperfeiçoamentos no desempenho e operações dos equipamentos e técnicas, não existe, atualmente, nenhum método simples, seguro e - adequado, para determinar a umidade em tôdas as condições e tipos de solos.

TANNER (1967) estabeleceu que, o êr-ro envolvido nos métodos baseados em determinações da umidade do solo, é de tal grandeza que, a evapotranspiração não pode ser realmente determinada, em períodos menores que aproximadamente uma semana.

2.1.1.3 - Lisimetria

O uso de lisímetros em estudos de evapotranspiração, permite uma caracterização completa dos termos da equação (1).

Van BAVEL (1961) considera a lisime - tria, como o único método praticável para determinar a evapotranspiração com uma precisão adequada.

TANNER (1968) recomenda o emprêgo de lisímetros, para avaliar a precisão dos métodos micrometeorológicos e calibrar as fórmulas empíricas empregadas na estimativa da evapotranspiração.

SLATYER (1967) propõe que, um lisímetro adequadamente projetado, deve apresentar condições de solo, vegetação e microclima, semelhantes ao seu estado natural. O tamanho, construção e localização, afetam a precisão de suas determinações.

PRUITT e ANGUS (1960), McILROY e SUMNER (1961) e Van BAVEL e MYERS (1962) desenvolveram lisímetros de precisão, capazes de acusar perdas de água da ordem de centésimos de milímetros, em períodos menores que uma hora.

O custo elevado, os mecanismos sensíveis e os critérios rigorosos de instalação, limitam muito a lisimetria em condições de campo.

2.1.2 - Método de balanço de energia

A evapotranspiração é um processo dependente de energia. Para uma determinada superfície, a diferença entre a radiação recebida e a radiação emitida, em todos os comprimentos de onda, é denominada radiação líquida (R_n), considerada o mais importante parâmetro micrometeorológico. Não considerando efeitos advectivos de radiação térmica, a radiação líquida representa a energia total disponível para a evaporação da água, aquecimento do ar e do solo, processos fisiológicos e armazenamento de energia nas plantas. Esta divisão de energia é mostrada na equação (3) (SLATYER, 1967):

$$R_n + H + LE + G + aA = 0 \quad (3)$$

onde: H , é o fluxo de calor sensível para o ar atmosférico por convecção; L , o calor latente de vaporização da água; E , o fluxo de vapor d'água; G , o fluxo de calor para o solo por condução; $-a$, o coeficiente de armazenamento de energia química do material vegetativo e, A , a massa vegetativa total.

A significância de cada termo da equação (3), depende do período de determinação e das condições físicas do sistema solo-planta-atmosfera envolvido. Em períodos de alguns dias,

SLATYER (1967) considera significativos, apenas H e LE. Em determinações horárias, TANNER e outros (1960) encontraram consideráveis variações em G, principalmente em períodos de maior fluxo de calor sensível para o ar atmosférico.

ROSENBERG e outros (1968) consideram que os valores de aA, normalmente são menores que o erro experimental envolvido nas determinações dos componentes principais. Portanto, nos cálculos de evapotranspiração, a equação (3) pode ser simplificada (WRIGHT e BROWN, 1967; HANKS e outros, 1968):

$$R_n + H + LE + G = 0 \quad (4)$$

e LE obtido por diferença, uma vez que os outros termos podem ser medidos ou estimados:

$$LE = R_n - H - G \quad (5)$$

O potencial de umidade do solo altera a proporção de radiação líquida entre os componentes do balanço de energia (KING, 1957). Em condições úmidas, a maior parte da radiação líquida é utilizada na evapotranspiração. Havendo porém, deficiência de umidade no solo, haverá um aumento proporcional de energia líquida no fluxo de calor sensível para o ar atmosférico (PELTON e outros, 1960; TANNER e LEMON, 1962; HANKS e outros, 1968).

Este método tem revelado adequada precisão e atualmente, é muito utilizado em trabalhos experimentais de evapotranspiração. GRAHAM e KING (1961) obtiveram boa concordância entre a evapotranspiração determinada por lisimetria e aquela, computada em base horária, pelo método de balanço de energia, para uma cultura de milho, desenvolvendo-se num solo com elevado intervalo de água disponível.

DENMEAD e McILROY (1970) obtiveram resultados semelhantes, entre a evapotranspiração determinada por lisimetria e, através do balanço de energia, para uma cultura de trigo, em condições de limitada umidade no solo.

A precisão obtida em suas determinações, tem

contribuído para esclarecer melhor os fenômenos envolvidos no processo evaporativo. Assim, HALSTEAD e COVEY (1957), ABDEL-AZIZ e outros (1964), HANKS e outros (1968) e ROSENBERG (1969) concluíram que a advecção de calor sensível, constitui uma forma adicional de energia para a evapotranspiração, muito frequente em áreas irrigadas de climas áridos e semi-áridos.

TANNER e outros (1960) verificaram em uma cultura de milho completamente desenvolvida, que 80% da energia disponível para a evaporação da água na superfície do solo eram provenientes da radiação solar e apenas 20%, como radiação de ondas longas armazenada no ambiente planta-ar.

FRITSCHEN e Van BAVEL (1964) atribuíram à presença de panículas e não à maturação fisiológica, para explicar a redução na evapotranspiração de uma cultura forrageira, com 1,40m de altura, em relação aos estágios anteriores menos desenvolvidos.

O método de balanço de energia exige equipamento sensível e dispendioso, nem sempre disponível. A instalação deve ser criteriosa e recomendável para superfícies razoavelmente homogêneas. Em locais onde ocorre advecção de calor sensível, sua aplicação deve ser muito cuidadosa. Além disso, o microclima deve ser completamente caracterizado.

Estas dificuldades tem permitido sua aplicação, apenas, em condições experimentais.

2.1.3 - Métodos de transferência de vapor

A evapotranspiração pode ser considerada como o fluxo ascendente de vapor d'água através do ar atmosférico próximo à superfície evaporante. A razão de evapotranspiração será proporcional ao gradiente vertical de pressão de vapor e à razão de turbulência das camadas de ar próximas à superfície, expressa como coeficiente de transferência turbulenta. O fluxo de calor sensível segue mecanismo análogo, como se observa nas equações abaixo (ROSENBERG e outros, 1968):

$$E = - \rho K_v (\partial \bar{q} / \partial z) \quad (6)$$

$$H = - \rho C_p K_h (\partial \bar{T} / \partial z) \quad (7)$$

onde: E e H representam, respectivamente, os fluxos verticais ascendentes de vapor d'água e calor sensível; ρ , a densidade do ar; C_p , o calor específico do ar à pressão constante; K_v e K_h , respectivamente, os coeficientes de transferência turbulenta para vapor d'água e calor sensível e, $\partial \bar{q}$ e $\partial \bar{T}$, os gradientes médios de umidade específica e temperatura do ar determinados a uma altura z.

As equações aerodinâmicas podem ser efetivamente aplicadas, apenas, em condições atmosféricas neutras (ausência de fluxo de calor da, ou, para a superfície). Havendo convecção térmica da superfície (atmosfera instável) ou para a superfície - (atmosfera estável), torna-se necessário introduzir correções de estabilidade nestas equações para se obter estimativas mais precisas. Isto aumenta as dificuldades de aplicação destes métodos.

Geralmente, admite-se a semelhança entre os coeeficientes de transferência, sob condições muito variáveis de estabilidade atmosférica e umidade na superfície evaporante (SWINBANK e DYER, 1967; DYER, 1967; DENMEAD e Mc ILROY, 1970). Conhecendo -se então, apenas um fluxo, pode-se encontrar os demais, a partir de determinações apropriadas dos respectivos gradientes, para o mesmo tempo e lugar.

THORNTHWAITE (1948) comenta a dificuldade de aplicação destes métodos, devido a precisão exigida nas determinações e a variação dos coeficientes de transferência turbulenta com a altura, tempo e lugar.

THORNTHWAITE e HOLZMAN (1942) apresentaram uma equação aerodinâmica para estimar a evapotranspiração:

$$E = \rho k^2 \frac{(q_2 - q_1) (u_2 - u_1)}{\left[\ln (z_2/z_1) \right]^2} \quad (8)$$

onde: k, é a constante de Von Karman (0,40); $(q_2 - q_1)$ e $(u_2 - u_1)$, respectivamente, os gradientes de umidade específica e velocidade do vento entre as alturas z_2 e z_1 .

PASQUILL (1950) encontrou boa concordância entre a evapotranspiração medida e aquela obtida da equação (8), em condições adiabáticas. Acentuou por outro lado, a importância de acrescentar-se uma estimativa apropriada do deslocamento do plano zero (d) nesta equação:

$$E = k^2 \frac{(q_2 - q_1) (u_2 - u_1)}{\left[\ln \left(\frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right) \right]^2} \quad (9)$$

ROSENBERG (1969) encontrou resultados dispersivos de evapotranspiração empregando a equação (9), comparados com determinações em lisímetros de precisão. Estas variações foram atribuídas à ausência de correção para estabilidade atmosférica. Concluiu que, as dificuldades instrumentais e de cálculos parecem não justificar a correção de estabilidade.

SHEPPARD (1958) revelou que os fluxos determinados nas primeiras camadas atmosféricas fornecem, para inúmeras finalidades, um valor satisfatório dos fluxos na superfície. Admite, entretanto, as dificuldades experimentais e interpretativas destas determinações.

Nos métodos de correlação turbulenta, a evapotranspiração é avaliada diretamente pelo fluxo vertical ascendente de vapor d'água, a uma determinada altura z da superfície, conforme a equação (TANNER, 1968):

$$E = \rho (q w) \quad (10)$$

sendo: E, a evapotranspiração; ρ , a densidade do ar úmido e, qw, a umidade específica e a velocidade vertical do vento, médios para o tempo e o espaço, determinados à altura z.

ROSENBERG (1968) reconhece que as dificuldades experimentais dificultam a aplicação dos métodos de correlação turbulenta.

A semelhança entre os coeficientes de transfe

rência turbulenta e a substituição dos gradientes de temperatura e pressão de vapor, por diferenças determinadas a mesma altura, - permitem estabelecer uma relação entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente, denominada relação de Bowen (β) .

$$\beta = H/LE = (C_p/L) (\Delta T/\Delta q) \quad (11)$$

Substituindo-se H pelo seu valor dado na equação (4), resulta:

$$\beta = (R_n - LE - G)/LE \quad (12)$$

e o valor da evapotranspiração poderá ser encontrado:

$$LE = (R_n - G)/(1 + \beta) \quad (13)$$

A equação (13) se apresenta mais vantajosa que as fórmulas aerodinâmicas. TANNER (1960) observou que, sendo o valor de β maior de -0,5, o erro envolvido em LE, devido a uma consideração incorreta na semelhança entre K_h e K_v ou nos valores de ΔT ou Δq , será significativamente menor que em β , porque - este é somado à unidade.

SLATYER (1967) revelou que as superfícies bem supridas com água, normalmente, apresentam valores de β inferiores a 0,20. Havendo porém, redução na umidade, a temperatura superficial se eleva, aumentando o fluxo de calor sensível para a atmosfera, proporcionando assim um aumento no valor de β . TANNER (1968) estabeleceu que os valores assumidos pela relação de Bowen, na maior parte das superfícies vegetadas e solos úmidos, estão - contidos no intervalo de -0,30 a 2,00.

2.1.4 - Relações climatológicas empíricas

As dificuldades encontradas na aplicação dos métodos anteriores, proporcionaram o aparecimento de fórmulas empíricas relacionando a evapotranspiração com determinados parâme-

tros climatológicos. Nem sempre os parâmetros escolhidos refletem o potencial de energia disponível ao processo evaporativo e, raramente, tais relações incluem fatores do solo ou da planta, decisivos em determinadas condições. Entretanto, são métodos simples, que utilizam dados climatológicos facilmente determináveis em muitos locais. Daí a razão do seu uso generalizado nas estimativas de evapotranspiração.

De acordo com a natureza dos parâmetros climatológicos envolvidos, estes métodos são relacionados a:

- a - estimativas do balanço de energia e transferência de vapor;
- b - radiação solar ou a radiação líquida;
- c - temperatura média do ar;
- d - umidade relativa do ar;
- e - determinações evaporimétricas.

Algumas características dos principais métodos serão discutidas a seguir.

2.1.4.1 - Métodos baseados em estimativas do balanço de energia e transferência de vapor.

PENMAN (1948) desenvolveu um método de balanço de energia associado a uma relação aerodinâmica semiempírica, para estimar a evapotranspiração potencial:

$$(14) \quad EP = \left[(\Delta / \gamma) R_n + E_a \right] / \left[(\Delta / \gamma) + 1 \right]$$

onde:

EP = evapotranspiração potencial;

Δ = quociente entre a pressão de saturação de vapor e a temperatura do ar;

γ = constante psicrométrica;

R_n = radiação líquida;

$E_a = 0,35 (e_a - e_d)(1 + 0,0165 u_2)$;

e_a = pressão de saturação à temperatura média do ar;

e_d = pressão atual de vapor no ar;

u_2 = velocidade média do vento em km/dia, determinada a 2,0 m da superfície do solo.

A radiação líquida pode ser medida diretamente ou estimada através de fórmulas empíricas (PENMAN, 1956; FRITSCHEN, 1967; OMETTO, 1968; LINACRE, 1968; JENSEN e outros, 1970).

O método de Penman tem sido extensivamente utilizado. STANHILL (1961) aplicando este método, obteve as estimativas mais precisas entre vários outros métodos comparados.

TOVEY e outros (1969) obtiveram estimativas adequadas de evapotranspiração para espécies forrageiras, em base semanal, mensal ou estacional, usando o método de Penman.

Por outro lado, ABDEL-AZIZ e outros (1964), concluíram que a fórmula de Penman e suas modificações propostas por TANNER e PELTON (1960), subestimaram acentuadamente os valores de evapotranspiração para condições semi-áridas. Atribuíram isto, à forte advecção de energia na área de estudo.

ROSENBERG (1969) determinando a evapotranspiração de uma cultura de alfafa com lisímetros de precisão, concluiu que o método de Penman subestimou em 30% a evapotranspiração potencial, principalmente, em condições de forte advecção de energia

Estes resultados parecem indicar que o método de Penman é mais apropriado para as estimativas em condições úmidas, onde os efeitos de advecção de energia podem ser desprezíveis (BAHRANI e TAYLOR, 1961).

Com a finalidade de reduzir o tempo de cálculo, foram desenvolvidas resoluções gráficas do método de Penman (PURVIS, 1961) e programas especiais de computadores (BAIER, 1965).

2.1.4.2 - Métodos baseados na radiação solar ou na radiação líquida.

TANNER (1968) considera os métodos de radiação como os melhores métodos empíricos. Tanto a radiação solar como a radiação líquida utilizadas, representam os principais parâmetros meteorológicos relacionados à evapotranspiração.

PELTON e outros (1960) correlacionaram a radiação líquida e a evapotranspiração potencial, mesmo em base horária.

DOSS e outros (1964) obtiveram correlações altamente significativas, entre a radiação líquida e a evapotranspiração de espécies forrageiras, submetidas a três regimes de umidade no solo.

JENSEN e HAISE (1963) propuseram um método simples para estimar a evapotranspiração em condições adequadas de umidade no solo. A radiação solar (R_s) é o parâmetro meteorológico principal e o valor da evapotranspiração (E) deve ser conhecido. A relação E/R_s determinada nos vários estágios de desenvolvimento da cultura para uma área especificada, poderá servir como referência para a estimativa da evapotranspiração em condições semelhantes, conhecendo-se apenas a radiação solar.

NAMKEN e outros (1968) encontraram estimativas reais de evapotranspiração em períodos de 7 ou 14 dias, usando as curvas E/R_s , para uma cultura de algodoeiro, desenvolvida em regimes de umidade adequado, moderado ou deficiente.

2.1.4.3 - Métodos baseados na temperatura média do ar.

Êstes métodos procuram correlacionar a evapotranspiração com a temperatura média do ar.

PELTON e outros (1960) discutiram as bases físicas destes métodos e concluíram que a temperatura média, embora dependente da radiação solar e do calor advectivo, não se

constitui uma medida adequada da energia disponível para a evapotranspiração, principalmente, devido ao atraso térmico.

A alta correlação entre a temperatura média mensal e a evapotranspiração, é atribuída a dependência dessas variáveis à radiação solar. Quaisquer variáveis periódicas que estejam razoavelmente em fase, serão correlacionadas, mesmo que não sejam fisicamente relacionadas. Este comportamento permite utilizar vantajosamente esses métodos para estimativas de evapotranspiração mensal, estacional ou anual.

Método de Thornthwaite

THORNTHWAITTE (1948) analisando os dados mensais de evapotranspiração e temperatura observados em vários locais, concluiu que estes valores quando ajustados para a variação no comprimento do dia, eram altamente correlacionados. Conhecendo-se então, a latitude e as temperaturas médias de um determinado lugar, pode-se estimar a evapotranspiração potencial através da fórmula:

$$EP = EP^* (h/12) (m/30) \quad (15)$$

sendo

$$EP^* = 1,6 (10 t/I)^a$$

onde:

EP = evapotranspiração potencial;

EP* = evapotranspiração potencial não ajustada;

h = comprimento do dia em horas;

m = número de dias do mês;

t = temperatura média mensal em °C;

I = índice de calor derivado da soma de 12 índices mensais i:

$$i = (t/5)^{1,514}$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49$$

MARLATT e outros (1961) estimaram

evapotranspiração de uma cultura de feijoeiro pelo método de Thornthwaite, encontrando bons resultados, até a remoção de 25 mm de água no solo. Após este valor, a evapotranspiração se reduziu assintoticamente, até atingir o teor correspondente a porcentagem de murchamento permanente.

CAMARGO (1961) obteve valores mensais estimados muito próximos dos valores medidos em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite modificado", para uma superfície vegetada com grama batatais.

DECKER (1962) encontrou valores aproximados entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo método de Thornthwaite, para uma cultura de milho.

PALMER e HAVENS (1958) e CAMARGO (1960), desenvolveram nomogramas para a resolução gráfica da equação de Thornthwaite, simplificando assim o seu cálculo.

Método de Blaney-Criddle

A fórmula empírica desenvolvida por BLANEY e CRIDDLE (1950), relaciona dados de uso consuntivo medidos, com a temperatura média mensal e a porcentagem mensal de horas possíveis de luz em relação ao total anual, através de coeficientes específicos para a estação de crescimento e regime de água condicionado à cultura.

A estimativa do uso consuntivo para a estação de crescimento (U) é dada pela equação:

$$U = KF = \sum u = \sum kf \quad (16)$$

onde:

K = coeficiente de uso consuntivo para o ciclo de crescimento;

F = fator de uso consuntivo para o ciclo de crescimento;

u = uso consuntivo mensal em milímetros;

k = coeficiente de uso consuntivo mensal;

f = fator de uso consuntivo mensal obtido pela equação:

$$f = p \cdot \left(\frac{45,7t + 813}{100} \right)$$

sendo: p = porcentagem mensal de horas possíveis de luz em relação ao total anual;

t = temperatura média mensal - (°C).

A facilidade de cálculo e a utilização de dados realmente disponíveis, permitiram o uso extensivo deste método, principalmente, em áreas onde os dados de uso consuntivo não são frequentemente determinados.

CHRISTIANSEN (1963), citado por BAIER (1965), obteve estimativas satisfatórias de evapotranspiração quando empregava coeficientes apropriados da cultura.

CAMARGO (1961) verificou que a fórmula de **Blaney-Criddle** superestimou os valores da evapotranspiração mensal medida para uma superfície adequadamente suprida com água e vegetada com grama batatais. Os desvios acentuavam-se nos meses de inverno, ainda que, os dados fôssem sempre correlacionados.

CRIDDLE (1953) apresentou nomogramas para o cálculo rápido de (u), simplificando sua aplicação.

Existem, atualmente, determinações de uso consuntivo para muitas culturas em vários locais dos Estados Unidos, principalmente em áreas irrigadas (BLANEY, 1955; SCHLEUSNER e outros, 1961; SOMMERHALDER, 1962; BLANEY e CRIDDLE, 1966; ERIE e outros, 1968).

2.1.4.4 - Métodos baseados na umidade relativa do ar.

Nêstes métodos, a pressão de vapor do ar atmosférico é correlacionada ao fluxo evaporativo. A fórmula

geral, atribuída a Dalton, é representada por:

$$E = C (e_0 - e_a) \quad (17)$$

onde: C é uma constante empírica, normalmente contendo um termo relacionado à velocidade do vento; e_0 , a pressão de saturação de vapor à temperatura da superfície evaporante e, e_a , a pressão atual de vapor no ar acima da superfície.

A fórmula geral tem sofrido inúmeras modificações, principalmente em relação a natureza do termo constante C (PENMAN, 1948; PRUITT, 1963, citado por ROSENBERG, 1968).

Apesar de ser um método simples e utilizar parâmetros de fácil determinação, sua aplicação não tem sido vantajosa em relação aos métodos de temperatura média.

TANNER (1968) acrescenta que a pressão de vapor, além de se constituir num dado pouco disponível, apresenta baixa correlação com a radiação solar.

- Métodos baseados em determinações evaporimétricas

Segundo FRITSCHEN e SHAW (1961), os dados obtidos através do uso de evaporímetros, integram o complexo de fatores meteorológicos que afetam a evapotranspiração. Admitem que as formas de perda d'água entre um evaporímetro e um solo vegetado apresentam como principais diferenças:

- a - mudança nas características de superfície com o decorrer da estação de crescimento;
- b - disponibilidade de água para evaporação;
- c - características de absorção de energia.

Os principais tipos de evaporímetros utilizados neste método, são os tanques de evaporação e os atmômetros. Dentre os vários tipos existentes, o tanque tipo Classe A,

padronizado pelo United States Weather Bureau, tem sido extensivamente utilizado (OLIVEIRA, 1971).

FRITSCHEN e SHAW (1961) concluíram - que o tanque Classe A pode ser usado para estimar a evapotranspiração, conhecendo-se apenas as relações entre a perda d'água da cultura e do tanque, naquelas condições.

FUCHS e STANHILL (1963) encontraram - relações lineares entre a evapotranspiração de uma cultura de algodoeiro e a evaporação de tanques Classe A, numa grande variação de fatores climáticos, solos, irrigação e plantas.

Posteriormente, FUCHS e outros (1964), compararam a produção, aplicação de água e evapotranspiração de culturas de algodoeiro irrigadas de acordo com as relações evapotranspiração/evaporação anteriormente estabelecidas e, irrigadas de acordo com as determinações gravimétricas convencionais de umidade no solo. Encontraram resultados semelhantes, porém, - acenam que o método gravimétrico é muito mais trabalhoso que o evaporimétrico.

DOSS e outros (1964) obtiveram uma elevada correlação entre a evapotranspiração de espécies forrageiras submetidas a três regimes de umidade e a evaporação de tanques Classe A. Aparentemente, as maiores correlações foram observadas em culturas que cobrem totalmente o solo. Estabeleceram - que as razões diárias de evapotranspiração podem ser estimadas para uma determinada cultura, estágio de desenvolvimento e regime de umidade do solo, a partir dos dados de evaporação do tanque e de suas relações pré-estabelecidas com a evapotranspiração.

TOVEY e outros (1969) concluíram que os dados de evaporação do tanque Classe A forneceram estimativas-adequadas da evapotranspiração em base semanal, mensal ou estacional para uma gramínea cobrindo totalmente a superfície do solo. Os atmômetros apresentam maiores vantagens que os tanques.

TANNER (1968) admite que a localização bem acima da superfície evaporante, o pequeno tamanho e a pos

sibilidade de obstrução, desfavorecem o uso de atmômetros em estimativas de evapotranspiração. Além disso, a instalação, geralmente em abrigos meteorológicos, resulta em complexas relações com evapotranspiração.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

O presente trabalho foi desenvolvido nos campos experimentais da Estação Experimental de Botucatu, Estado de São Paulo, definida pelas coordenadas geográficas: 22° 52' 55" de latitude sul e 48° 26' 22" de longitude oeste, a uma altitude média de 800m.

O local escolhido apresenta aproximadamente 1.500m² de área efetiva, e encontra-se envolvido em sua maior parte por um cafézal, numa situação de meia encosta, com exposição face oeste (FIGURA 1). O relevo é normal e ondulado.

3.1.1 - Solo

3.1.1.1 - Propriedades morfológicas

A análise morfológica do perfil representativo da área experimental, desenvolvida pelo Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, revelou a seguinte descrição:

Ap 0 - 28cm; pardo avermelhado (2,5YR 4/4) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; fina; granular. pecue-

na, fraco; ligeiramente duro, muito friável, muito plástico, pegajoso; cerosidade comum, forte; raízes finas, abundantes; linha horizontal de pequenos basaltitos na base do horizonte, atingindo até 8cm de espessura, com transição suave, difusa.

IIB₂ 28-45cm; pardo avermelhado (2,5YR 4/4) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; fina; blocos subangulares, médios, moderado; muito duro, friável, muito plástico, pegajoso; cerosidade comum, forte; raízes finas, abundantes; linha horizontal de pequenos basaltitos na base do horizonte, com transição suave, clara.

IIIB₃ 45-63cm; vermelho (2,5YR 4/6) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; moderadamente fina; maciço que se desfaz em granular, muito pequena, fraco; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; cerosidade de pouco, fraco; raízes finas, abundantes; linha descontinua horizontal de basaltitos na base do horizonte, com transição ondulado, clara.

IVB₂₁ 63-78cm; pardo avermelhado (2,5YR 4/4) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; fina; blocos subangulares, médios, moderado; muito duro, friável, muito plástico, muito pegajoso; cerosidade abundante, forte; carvões abundantes; raízes finas, comuns; limite ondulado, abrupto.

IVB₂₂ 78-108cm; vermelho (2,5YR 4/6) sêco, vermelho escuro (2,5YR-3/6) úmido; fina; prismática, grande, forte; muito duro; friável, muito plástico, muito pegajoso; cerosidade abundante, forte; raízes finas, poucas; limite suave, difuso.

IVB₂₃ 108-130cm; vermelho (2,5YR 4/6) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; fina; blocos subangulares, média a grande, forte; duro, friável, muito plástico, -

pegajoso; cerosidade comum, forte; raízes finas, raras; limite suave; difuso.

IVB₃ 130-170cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6) sêco, pardo avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido; mediana; maciço que se desfaz em blocos subangulares, médios, fraco, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; cerosidade pouco, fraco; raízes finas, raras.

3.1.1.2 - Propriedades físicas

A análise mecânica do perfil, até a profundidade de 0,60m, realizada pelo Centro de Estudos de Solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", revelou os dados contidos no QUADRO I.

QUADRO I - Análise mecânica do perfil do solo

Profundidade cm	Argila %	Limo %	Areia %	Classe textural
0 - 40	51,1	22,2	26,7	Argila
40 - 60	53,4	19,5	27,1	Argila

Os valores do peso específico aparente, anotados no QUADRO II, representam a média entre várias determinações efetuadas com anéis volumétricos padronizados, tendo 50cm³ de volume interno (FIGURA 2).

QUADRO II - Valores médios de capacidade de campo (CC), ponto de murchamento permanente (PMP), e peso específico aparente (Da) do solo.

Profundidade cm	% de peso de solo sêco		Da g.cm ⁻³
	CC	PMP	
0 - 40	29,2	20,6	1,15
40 - 60	29,8	21,9	1,14

3.1.1.3 - Propriedades químicas

Os resultados da análise química, determinada pelo Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", encontram-se registrados - no QUADRO III.

QUADRO III - Análise química do solo

Profundidade-cm	pH	Matér. org. %	teor trocável em e.mg/100g de terra					
			fósforo	potássio	cálcio	magnésio	alumínio	H ⁺
0-40	5,6	2,322	0,242	0,600	3,520	0,960	0,640	4,24
	médio	médio	médio	alto	médio	médio	alto	médio

3.1.1.4 - Relações com a água

Para avaliar a capacidade máxima de retenção de água pelo solo, procedeu-se a determinação da capacidade de campo, utilizando-se um dispositivo de madeira, com forma retangular, constituído apenas por paredes laterais, tendo 0,30m de altura, delimitando uma área de 1,0m² (FIGURA 3). Uma vez parcialmente cravado na superfície do solo, foram incorporados 300mm de água, o suficiente para promover um umedecimento além de 1,0m de profundidade. Com o fim de impedir a evaporação, cobriu-se a superfície com uma densa camada de serragem fina. Assim instalado, determinou-se a variação da umidade do solo durante 6 dias consecutivos, utilizando-se o método gravimétrico padrão, a partir de amostragens efetuadas com trado de 3/4" (FIGURA 4). Os valores de capacidade de campo mostrados no QUADRO II, representam teores médios obtidos a partir dos dados com pequena variação entre si.

Assumiu-se o teor de umidade correspondente a um potencial de 15 bares, como o limite inferior de água disponível ou porcentagem de murchamento permanente (PMP), in

dicado na curva característica de umidade do solo (FIGURA 5) e -
anotado no QUADRO II.

3.1.2 - Cultura

Para desenvolver êstes estudos elegeu-se uma -
cultura de batata (Solanum tuberosum, L.), variedade Aracy (IAC-2),
a partir de tubérculos-sementes certificados, fornecidos pela Sec-
ção de Raízes e Tubérculos da Coordenação de Assistência Técnica -
Integral - CATI, em Campinas.

3.1.3 - Dados meteorológicos

Os QUADROS 1,2, e 3 revelam os dados relativos -
aos parâmetros meteorológicos, registrados durante o período de -
observação. Com excessão da precipitação pluviométrica, anotada -
na própria área experimental, todos os outros valôres foram obti-
dos junto ao Posto Meteorológico do Departamento de Física da Fa-
culdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, localizado -
a 700m do campo, como mostra a FIGURA 6.

Os equipamentos utilizados na determinação de -
cada parâmetro, bem como, da evaporação de uma superfície livre -
de água, são caracterizados como segue.

3.1.3.1 - Precipitação pluviométrica

Pluviógrafo marca FUESS, tipo HELLMAN
por sifonação, de registro semanal, apresentando um diagrama com
variação de 10mm e divisões de 0,1mm.

3.1.3.2 - Radiação solar

Actinógrafo OTA, de procedência japo-
nêsa, fabricado pela OTA KEIKI SEISAKUSHO, número de série -
124137, Index 0.364, constituído de duas placas bimetálicas idên-

ticas, uma de cor preta e outra, branca. O fator de correção do aparelho é 0,332 e o diagrama possui divisões de $0,05 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

3.1.3.3 - Insolação

Heliógrafo marca FUESS, número de série 113373, com diagrama de registro diário.

3.1.3.4 - Temperatura do ar

Termômetros marca FUESS, com uma variação na escala de -35°C a $+100^{\circ}\text{C}$, e divisões de $0,2^{\circ}\text{C}$.

3.1.3.5 - Umidade relativa do ar

Psicrômetros tipo AUGUST, de fabricação FUESS, com aspiração nos dois termômetros. Os termômetros empregados são de mercúrio, com escala de -15°C a $+61^{\circ}\text{C}$ e divisões de $0,2^{\circ}\text{C}$.

3.1.3.6 - Velocidade do vento

Anemômetro totalizador de procedência germânica, fabricação LAMBRECHT, tipo 1440, com três conchas hemisféricas, para intervalos de vento de 1m/s a 60m/s . O vento percorrido é indicado em um odômetro interno e a correção dos dados obtidos é conseguida através de gráficos que acompanham o aparelho. Sua localização é a $2,0\text{m}$ da superfície do solo.

3.1.3.7 - Evaporímetro

Tanque Classe A, construído segundo as normas fixadas pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO), constituído de chapa galvanizada AGW 20. As leituras de evapora-

ção são feitas com micrômetro de gancho, de fabricação CASELLA, - com divisões de 0,01mm.

3.1.4 - Umidade do solo e irrigação

As amostragens de solo para fins de cálculo do balanço de água, foram efetuadas com auxílio de um trado de 3/4" e acondicionadas em recipientes de alumínio, tendo 140,0cm³ de volume interno (FIGURA 4).

Para a pesagem das amostras úmidas e secas, utilizou-se uma balança elétrica, marca Mettler, com precisão de 0,1g. A secagem das amostras processava-se em estufa, regulada automaticamente para fornecer uma temperatura constante de 105°C

Devido a natureza do método adotado, o equipamento para a irrigação constou apenas de um recipiente graduado em unidades volumétricas (FIGURA 7).

3.2 - Métodos

3.2.1 - Delineamento experimental

Para os fins propostos esquematizou-se um experimento com 3 tratamentos e 12 repetições, dispostos em blocos ao acaso (FIGURA 6). Cada parcela constituiu-se de 3 linhas de plantas, com 4,0m de comprimento, das quais, a linha central era submetida ao tratamento e as laterais comportavam-se como bordaduras. Os tratamentos foram definidos por regimes de umidade proporcionados à cultura, através de irrigação, baseados em níveis mínimos - médios de água disponível, determinados na curva característica de umidade do solo (FIGURA 5), obtida através da placa e membrana de pressão (RICHARDS, 1947, 1949), pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". O QUADRO IV caracteriza os referidos tratamentos.



FIGURA 1 - Aspecto da área experimental

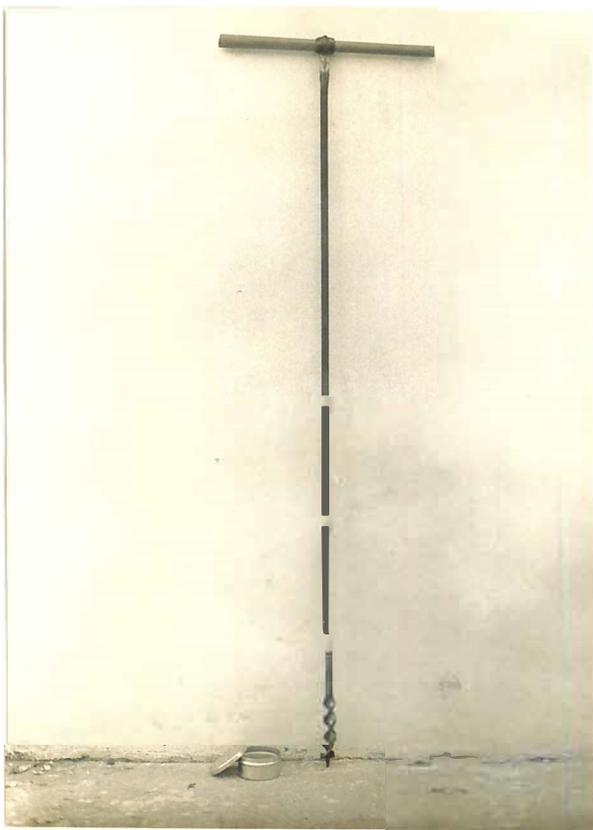


FIGURA 4 - Trado e recipiente de amostragem para determinação do teor de umidade do solo.



FIGURA 7 - Equipamento e método de irrigação.

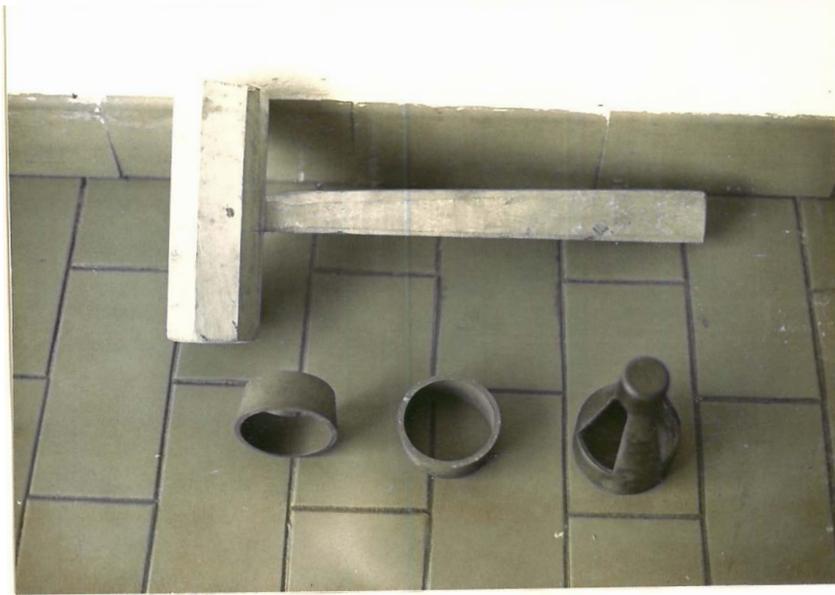


FIGURA 2 - Equipamento para determinação do
pêso específico aparente do solo.



FIGURA 3 - Dispositivo para determinação da
capacidade de campo do solo.

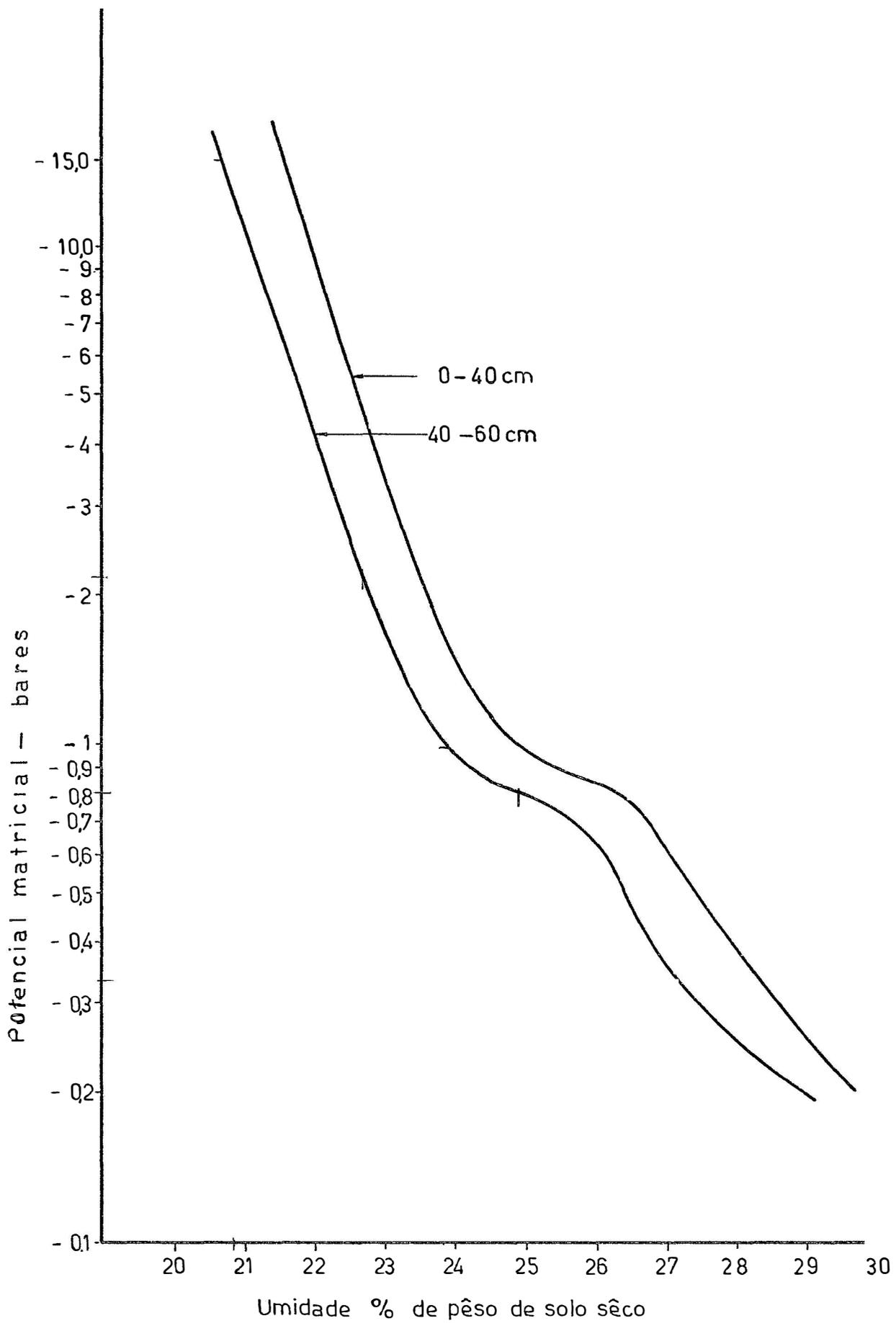
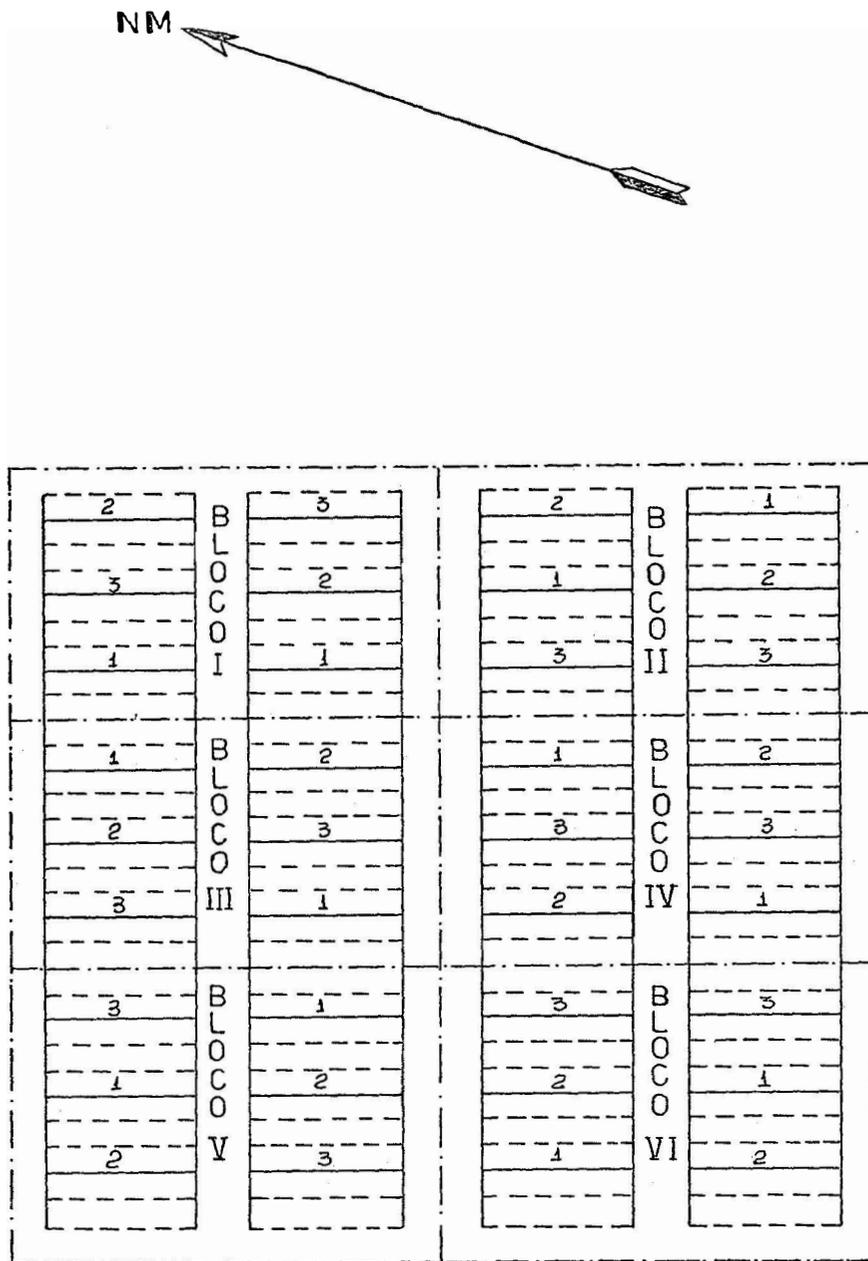


FIGURA 5 - Curva característica de umidade do solo



ESCALA 1:250

Posto de observações
meteorológicas
(700 metros da área experimental)

FIGURA 6 - Esquema do delineamento experimental e localização do posto meteorológico.

QUADRO IV - Níveis mínimos médios de umidade do solo, em 40cm de profundidade, para os tratamentos de irrigação.

Tratamento	teor de umidade % de peso seco	potencial matricial-bares	% de água disponível
3	27,0	0,35	75
2	24,9	0,80	50
1	22,8	2,00	25

3.2.2 - Instalação

Antecederam-se ao plantio as operações convencionais de preparo do solo como aração, gradagem e sulcamento. A seguir procedeu-se a uma adubação, baseada na análise química do solo e nos resultados obtidos anteriormente por SCALOPPI e KLAR (1971). As quantidades totais de nutrientes aplicados foram 120-240-120kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

O plantio realizou-se no dia 24 de junho de 1971, seguindo as recomendações de CARVALHO DIAS (1968), adotando-se um espaçamento de 0,80m entre as linhas e 0,35m entre as plantas. O número de plantas efetivamente desenvolvidas atingiu 98% do número de tubérculos-sementes utilizados no plantio.

Os tratamentos culturais e fitossanitários obedeceram a orientação do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu.

3.2.3 - Determinação da umidade do solo

Para determinar a umidade do solo, optou-se pelo método gravimétrico padrão, com os resultados relativos ao peso do solo seco em estufa, empregando-se a fórmula:

$$U_a = \frac{P_a - P_s}{P_s} \cdot 100$$

onde:

U_a = teor de umidade, expresso em porcentagem;

Pa = pêsos de água contida na amostra de solo;
Ps = pêsos da amostra de solo sêco.

Apesar de trabalhoso, é um método absoluto (SLATYER, 1967). Além disso, revelou-se como o mais conveniente às condições experimentais presentes.

As amostragens de solo efetuaram-se em base diária ou, a cada dois dias, às profundidades de 0,00-0,20; 0,20-0,40 e 0,40 - 0,60m. Baseado nos resultados de ALLMARAS e GARDNER (1956), as amostras foram retiradas numa região interdiária entre o sulco de irrigação e a linha de plantio submetida ao tratamento, em três locais, com duas repetições.

3.2.4 - Procedimento da irrigação

O método de irrigação adotado foi sulcos em nível com os bordos fechados, localizados lateralmente às linhas da cultura submetidas aos tratamentos de irrigação. (FIGURA 7).

Uma vez atingido o nível mínimo médio pré-estabelecido de umidade no solo, o respectivo tratamento recebia uma quantidade de água suficiente para elevar o seu teor ao valor correspondente à capacidade de campo, na profundidade de 0,40m. O cálculo dessa quantidade baseou-se na equação:

$$h = \frac{(CC - U_a) \cdot D_a \cdot H \cdot 10}{E_i}$$

onde:

h = altura de água em mm, a ser adicionada ao solo;

CC = teor médio de umidade do solo suposto na capacidade de campo, expresso em porcentagem de pêsos de solo sêco;

U_a = umidade atual média, expressa em porcentagem de pêsos de solo sêco, por ocasião da amostragem. Procedia-se a irrigação, quando

êste valor aproximava-se tanto quanto possível daquêle correspondente ao nível mínimo - médio pré-estabelecido para cada tratamento;

D_a = pêsso específico aparente médio do solo em g/cm^3 ;

H = profundidade de solo que se pretende irrigar, fixada em 40cm;

E_i = eficiência de irrigação, expressa em porcentagem. A natureza do método empregado permite assumir uma eficiência em tórno de 100%.

3.2.5 - Determinação da evapotranspiração

A fórmula empregada para se determinar a evapotranspiração foi derivada da equação do balanço de água proposta por SLATYER (1967):

$$E = P - O - U \pm \Delta W$$

sendo:

E = evapotranspiração ocorrida no período considerado;

P = quantidade de água adicionada ao solo por irrigação e precipitação;

O = deflúvio de superfície e subsuperfície;

U = quantidade de água percolada abaixo de 0,60m;

ΔW = variação na quantidade de água armazenada no solo.

Por conveniência, todos os têrmos foram expressos em milímetros de altura d'água.

A natureza do método de irrigação adotado (sulcos em nível com os bordos fechados) e a ausência de horizontes de impedimento comprovada pela análise morfológica do perfil, permitiram assumir desprezíveis, o deflúvio de superfície e subsuperfície nas intensidades de precipitação pluviométrica registradas-

durante o período experimental.

A percolação era considerada, sempre que a quantidade de água incorporada excedia aquela necessária para o solo atingir a capacidade de campo, na profundidade de 0,60m.

A variação na quantidade de água armazenada no solo foi obtida subtraindo-se a quantidade existente no final do período (W_f) daquela inicial (W_i). Estas, por sua vez, foram calculadas a partir da fórmula geral:

$$W = U_a \cdot D_a \cdot H$$

cujos termos foram anteriormente identificados.

3.2.6 - Estimativas da evapotranspiração, dados de radiação solar e evaporação do tanque Classe A.

As estimativas da evapotranspiração foram obtidas empregando-se os métodos de Penman, Thornthwaite e Blaney-Cridle.

3.2.6.1 - Emprêgo da fórmula de Penman

A fórmula para a estimativa da evapotranspiração proposta por PENMAN (1948), pode ser representada pela equação:

$$E = \left[(\Delta/\gamma) R_n + E_a \right] / \left[(\Delta/\gamma) + 1 \right]$$

onde:

E = evapotranspiração média diária em mm, no período considerado;

Δ = tangente à curva de tensão de saturação de vapor d'água na temperatura considerada;

γ = constante psicrométrica (0,5mmHg/ $^{\circ}$ C);

Δ/γ = relação adimensional, dada pela TABELA 1;

R_n = energia líquida recebida pela su-

perfície e estimada a partir da -
seguinte equação (PENMAN,1956b):

$$R_n = (1 - r) R_s - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d}) \\ (0,1 + 0,9n/N)$$

sendo :

R_s = radiação solar média diária rece-
bida pela superfície, expressa em
mm de evaporação equivalente - va-
lor medido;

r = albedo da superfície, assumido um
valor médio de 0,24 (FRITSCHEN,
1967);

σ = constante de radiação de Stefan -
Boltzmann = $19,8 \cdot 10^{-10}$ mm/dia.

T_a = temperatura média diária do ar à
sombra, expressa em graus absolu-
tos;

e_d = tensão atual de vapor média diá-
ria, em mm Hg, calculada a partir
da expressão:

$$e_d = UR \cdot e_s / 100$$

em que:

UR - unidade relativa do ar, mé-
dia diária, expressa em por-
centagem;

e_s = tensão de saturação de vapor
do ar média diária, expressa
em mm Hg, dada pela TABELA 2;

n = horas de insolação média diária;

N = média diária do número de horas -
possíveis de insolação, dado pela
TABELA 3;

E_a = poder evaporante médio diário do -
ar em mm, calculado pela expressão:

$$E_a = 0,35 (1 + U/160)(e_s - e_d)$$

onde:

U = velocidade média diária do vento -
em km/dia.

3.2.6.2 - Emprêgo da fórmula de Thornthwaite

A evapotranspiração estimada pela fórmula de Thornthwaite foi obtida através da resolução gráfica da equação geral, encontrada no QUADRO 4 (CAMARGO, 1961).

O ajustamento da evapotranspiração - obtida no nomograma, para um determinado período, baseou-se na equação (PELTON e outros, 1960):

$$E = E^* (N/12) (m/30)$$

onde:

E^* = evapotranspiração não ajustada, - obtida através do uso do nomograma (QUADRO 4), a partir da temperatura média diária;

N = média diária do número de horas - possíveis de insolação (TABELA 3);

m = número de dias correspondente ao período.

3.2.6.3 - Emprêgo da fórmula de Blaney-Criddle

A fórmula de Blaney-Criddle utilizada para encontrar o fator de uso consuntivo (f) ajustado para um determinado período, é representada pela equação (ERIE e outros, 1968):

$$f = \frac{m}{M} p \left(\frac{45,7t + 813}{100} \right)$$

sendo:

M = número de dias do mês em questão;

p = porcentagem média diária do número de horas possíveis de insolação em relação ao total anual (TA

BELA 4);

t = temperatura média diária em °C.

3.2.6.4 - Dados de radiação solar e evaporação do tanque Classe A.

A intensidade de radiação solar e evaporação do tanque Classe A, para um determinado período, foram computados dos valores registrados diariamente, expressos em mm de evaporação equivalente.

3.2.7 - Métodos de análise

3.2.7.1 - Estudo de correlação simples entre a evapotranspiração medida, as estimativas e os dados de radiação solar e

evaporação do tanque Classe A. O comportamento da relação entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo método de Penman durante o período de observação, sugere a existência de períodos caracterizados por distintas exigências em água. Isto conduziu, para efeito de análise, a uma divisão do ciclo de crescimento da cultura em dois estágios de exigência semelhante.

Com o intuito de contornar a arbitrariedade envolvida na escolha do período de transição entre o 1º e 2º estágios, admitiu-se o período compreendido de 16 a 20/8, como sendo comum aos dois estágios considerados.

Apesar dos métodos envolvidos nas estimativas apresentarem resultados com uma variação mais uniforme, procedeu-se a uma adaptação dos dados obtidos aos estágios de crescimento anteriormente propostos.

O grau de dependência entre a evapotranspiração medida e a estimada, para um determinado estágio, foi estabelecido através de coeficientes de correlação obtidos a partir da fórmula:

$$r = \frac{\sum x y - \frac{(\sum x)(\sum y)}{N}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N})}}$$

onde:

r = coeficiente de correlação;

x = evapotranspiração medida;

y = evapotranspiração estimada;

N = número de observações.

A significância estatística dos valores der foi verificada através do teste t, com N-2 graus de liberdade:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} \sqrt{N - 2}$$

3.2.7.2 - Produção

Os dados de produção total, classificação e número de tubérculos obtidos, foram analisados estatisticamente, aplicando-se a análise de variância, e empregando-se o teste de Tukey para comparação das respectivas médias (PIMENTEL GOMES, 1970).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos através da metodologia utilizada foram analisados em função dos objetivos propostos, proporcionando os seguintes resultados:

4.1 - Evapotranspiração medida

O método do balanço de água forneceu os valores de evapotranspiração assumidos durante o ciclo de crescimento da cultura, conforme mostram os QUADROS V, VI e VII. Até aos 27 dias - após o plantio, tôdas as parcelas receberam a mesma quantidade de água, quando então, iniciou-se a diferenciação entre os regimes de umidade preconizados para cada tratamento. Nesta data, admitiu-se satisfatória a emergência das plantas no campo. Convém salientar que os dados de umidade atual referem-se à quantidade de água existente em 0,60m de profundidade de solo, e a precipitação efetiva representa a quantidade de água utilizada para elevar o teor de umidade atual do solo ao valor correspondente à capacidade de campo, por ocasião de cada precipitação.

QUADRO V - Evapotranspiração medida (E) correspondente ao -
tratamento 1.

Data	Período dias	Unidade atual-mm	Precipitação efetiva-mm	Irrig. mm	E/período mm	E/dia mm
24/6	6	200,5		6,0	12,4	2,07
30/6	7	194,1	14,3		13,5	1,93
7/7	6	194,9		12,0	13,4	2,23
13/7	8	193,5		18,0	19,0	2,38
21/7	6	192,5			12,7	2,12
27/7	6	179,8	22,3		12,5	2,08
2/8	7	189,6	3,8		16,4	2,34
9/8	7	177,0	9,7		17,5	2,50
16/8	4	169,2			9,0	2,25
20/8	6	160,2		33,1	17,6	2,93
26/8	6	175,7			15,1	2,51
1/9	5	160,6		33,1	16,3	3,26
6/9	7	177,4	35,9		23,6	3,37
13/9	7	189,7			23,9	3,41
20/9	10	165,8	17,7	33,1	31,5	3,15
30/9		185,1				
Ciclo	98	-	103,7	135,3	254,4	2,60

QUADRO VI- Evapotranspiração medida (E) correspondente ao tratamento 2.

Data	Período dias	Umidade atual-mm	Precipitação efetiva-mm	Irrig. mm	E/período mm	E/dia mm
24/6		200,5				
	6			6,0	12,4	2,07
30/6		194,1				
	7		14,3		13,5	1,93
7/7		194,9				
	6			12,9	13,4	2,23
13/7		193,5				
	8			18,0	19,0	2,38
21/7		192,5				
	6				12,7	2,12
27/7		179,8				
	6		6,0	21,6	13,1	2,18
2/8		194,3				
	7		3,8		16,9	2,41
9/8		181,2				
	7		9,7	21,6	18,9	2,70
16/8		193,6				
	4				13,2	3,30
20/8		180,4				
	6			21,6	21,8	3,63
26/8		180,2				
	6			21,6	24,7	4,12
1/9		177,1				
	5			21,6	21,9	4,38
6/9		176,8				
	7		36,5		24,1	3,47
13/9		189,2				
	7			21,6	26,7	3,81
20/9		184,1				
	10		17,7	21,6	35,7	3,57
30/9		187,7				
Ciclo	98	-	88,0	187,2	288,0	2,94

QUADRO VII - Evapotranspiração medida (E) correspondente ao tratamento 3.

Data	Período dias	Umidade atual-mm	Precipitação efetiva-mm	Irrig. mm	E/período mm	E/dia mm
24/6		200,5				
	6			6,0	12,4	2,07
30/6		194,1				
	7		14,3		13,5	1,93
7/7		194,9				
	6			12,0	13,4	2,23
13/7		193,5				
	8			18,0	19,0	2,38
21/7		192,5				
	6			10,0	13,0	2,17
27/7		189,5				
	6		17,1		13,4	2,23
2/8		193,2				
	7		3,8	10,0	16,5	2,36
9/8		190,5				
	7		9,7	10,0	17,5	2,50
16/8		192,7				
	4			10,0	15,4	3,85
20/8		187,3				
	6			20,0	24,5	4,08
26/8		182,8				
	6			30,0	25,2	4,20
1/9		187,6				
	5			20,0	21,6	4,32
6/9		186,0				
	7		27,3		26,1	3,73
13/9		187,2				
	7			30,0	26,7	3,81
20/9		190,5				
	10		17,7	10,0	33,8	3,38
30/9		184,4				
Ciclo	98	-	89,9	186,0	292,0	2,98

Uma análise superficial dos dados revela a ocorrência de consumos diferenciais de água no decorrer do ciclo de crescimento da cultura. De acordo com LEMON e outros (1957), estas diferenças estariam associadas às variações no potencial evaporativo da atmosfera, no estado de energia da água do solo e, nas exigências em água pela cultura, durante o período de observação.

Com o objetivo de identificar períodos caracterizados por uma exigência semelhante em água, observou-se o comportamento da relação entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo método de Penman, durante o ciclo de crescimento das plantas, em cada regime de umidade proporcionado à cultura. Este procedimento, segundo BAHRANI e TAYLOR (1961) e EAGLEMAN e DECKER (1965), reduz a influência de variações na demanda evaporativa da atmosfera sobre a evapotranspiração. Os resultados podem ser apreciados na FIGURA 8.

Para fins de irrigação, podem ser identificados dois estágios de exigência semelhante em água. O primeiro, caracterizado por um pequeno consumo, abrange a emergência das plantas e o período inicial de crescimento, estendendo-se, aproximadamente, até aos 50 dias do plantio. O segundo, revela um aumento acentuado na razão de evapotranspiração até atingir um valor máximo, para depois declinar, aos 90 dias após o plantio. Os períodos de elevada exigência em água estariam associados à formação e desenvolvimento dos tubérculos (de LIS e outros, 1964). Após estes períodos, a irrigação deve ser suspensa (BOOCK, 1963), não havendo portanto, maior interesse em se conhecer a evapotranspiração, para fins de irrigação.

O tratamento com níveis mais baixos de água disponível no solo concorreu para uma redução no desenvolvimento vegetativo das plantas, em relação aos níveis mais elevados, como pode ser observado nas FIGURAS 9, 10 e 11. Por outro lado, o aumento no intervalo de água disponível é relacionado a uma variação proporcional no estado de energia da água do solo, de tal modo que, baixos teores de umidade, reduzem o potencial e a condutividade insaturada da água através do solo (GARDNER e EHLIG, 1963). És-

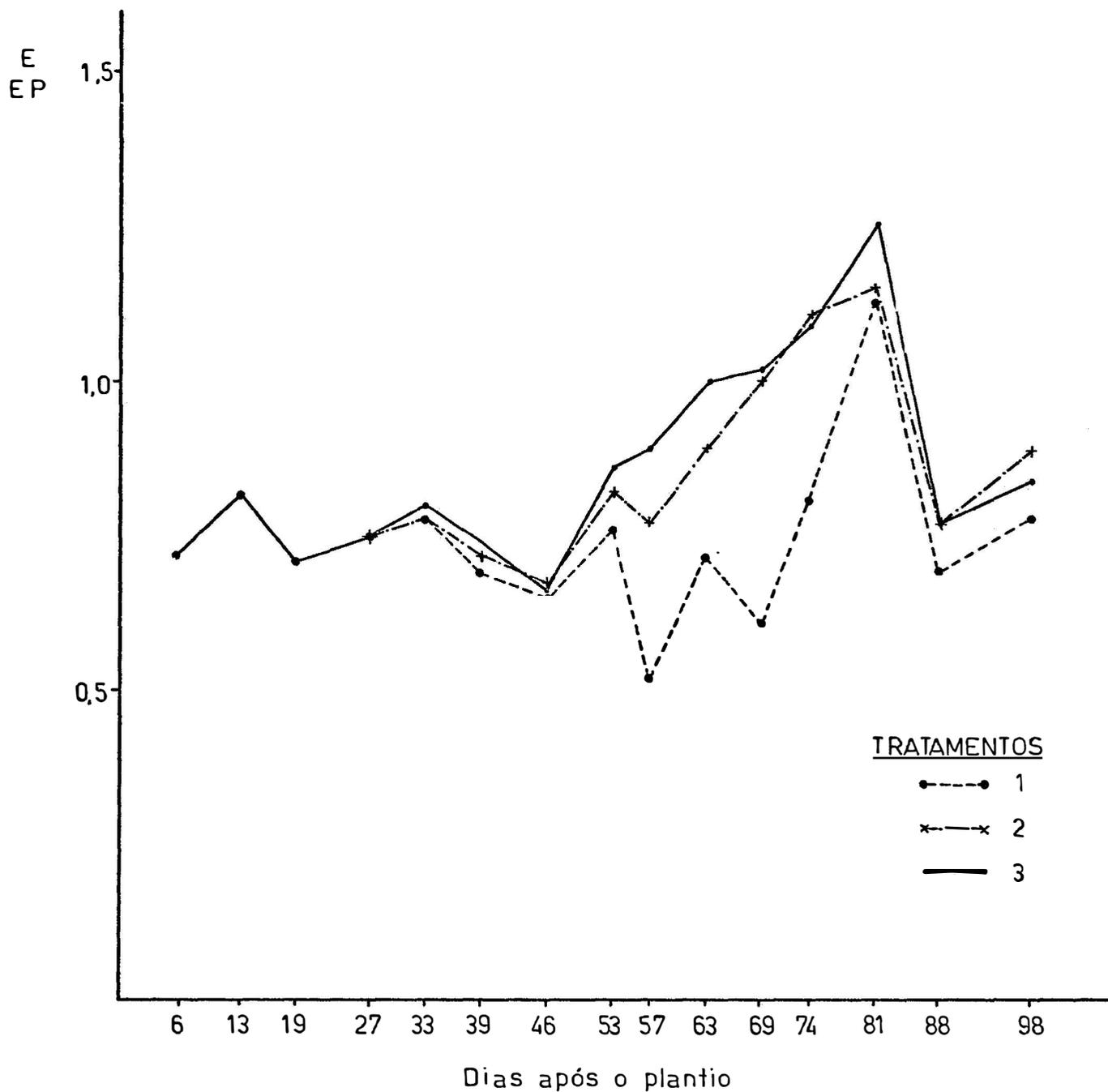


FIGURA 8 - Relações entre a evapotranspiração medida e estimada pelo método de Penman (E/EP) durante o ciclo de crescimento da cultura.



FIGURAS 9, 10 e 11 Aspecto do desenvolvimento vegetativo e grau de cobertura da superfície do solo, aos 30 dias após o plantio, nos tratamentos 1,2 e 3.

tes fatores poderiam limitar o fornecimento de água às raízes - (EAGLEMAN e DECKER, 1965), e promover certas alterações fisiológicas nas plantas (VAADIA e outros, 1961; KRAMER, 1963), contribuindo assim para reduzir a intensidade de evapotranspiração - (MAKKINK e Van HEEBIST, 1956; BAHRANI e TAYLOR, 1961).

Os valores de evapotranspiração medida nos diversos períodos do ciclo de crescimento da cultura, para os três regimes de umidade estudados, parecem concordar com as observações anteriores. Assim, os tratamentos com níveis mais elevados de umidade no solo (50 e 75%), proporcionaram intensidades de evapotranspiração mais acentuadas que aquele, com nível mais reduzido (25%).

4.2 - Evapotranspiração estimada

Os métodos estudados para estimar a evapotranspiração forneceram os dados constantes no QUADRO VIII. Estes métodos, indicados para condições adequadas de umidade no solo, não apresentam, portanto, fatores de correção para as variações nos níveis de água disponível. As maiores diferenças com os valores medidos, geralmente, foram observadas em condições bastante adversas daquelas estabelecidas na definição de evapotranspiração potencial.

4.3 - Estudos de correlação e fatores de conversão

Para a análise, utilizaram-se os dados de evapotranspiração obtidos nos diversos períodos de cada estágio, para os três regimes de umidade condicionados à cultura através de irrigação. Foram estabelecidos os coeficientes de correlação e os fatores de conversão ou coeficientes de proporcionalidade, entre a evapotranspiração medida pelo método do balanço de água, cada uma das estimativas estudadas e, os dados de radiação solar e evaporação do tanque Classe A.

QUADRO VIII - Evapotranspiração estimada, dados de radiação solar e evaporação do tanque Classe A.*

Data	Período dias	1	2	3	4	5
24/6						
	6	17,3	13,1	25,7	46,6	23,6
30/6						
	7	16,4	8,5	25,7	42,2	27,2
7/7						
	6	18,9	9,8	23,0	51,4	25,3
13/7						
	8	25,2	13,1	31,4	69,7	33,1
21/7						
	6	16,3	10,4	23,5	44,2	21,2
27/7						
	6	18,1	10,8	27,6	45,7	21,1
2/8						
	7	25,1	16,3	29,6	57,7	28,0
9/8						
	7	23,1	12,5	28,1	55,0	28,9
16/8						
	4	17,2	7,4	17,0	40,9	20,2
20/8						
	6	24,4	12,3	25,2	52,4	24,7
26/8						
	6	24,8	9,6	24,0	60,0	35,6
1/9						
	5	19,8	10,6	23,0	44,6	23,9
6/9						
	7	20,9	9,9	23,8	47,2	21,4
13/9						
	7	34,8	17,5	33,3	78,5	47,1
20/9						
	10	40,1	26,9	49,1	79,7	49,9
30/9						
Ciclo	98	34,24	188,7	415,0	315,8	431,2

* Os números do cabeçalho referem-se a:

1. Fórmula de Penman
2. Fórmula de Thornthwaite
3. Fator de uso consuntivo da fórmula de Blaney-Cridle.
4. Radiação solar
5. Evaporação do tanque Classe A.

Dados expressos em mm de evaporação.

4.3.1 - Evapotranspiração medida (E) versus estimada pela fórmula de Penman (EP).

Tratamento	Estágio de crescim.	E média mm/dia	EP média mm/dia	Fator de conversão - k	Coef. de correlação - r
1	1º	2,22	3,12	0,71	0,860**
	2º	3,04	4,04	0,75	0,832**
	ciclo	2,60	3,49	0,74	0,874**
2	1º	2,34	3,12	0,75	0,924**
	2º	3,74	4,04	0,92	0,884**
	ciclo	2,94	3,49	0,84	0,884**
3	1º	2,35	3,12	0,75	0,873**
	2º	3,85	4,04	0,95	0,857*
	ciclo	2,98	3,49	0,85	0,834**

A elevada significância dos coeficientes de correlação encontrados nos dois estágios de crescimento considerados, para os três tratamentos, indica que a fórmula de Penman deve encerrar os parâmetros meteorológicos que predominam na determinação das perdas de água por evapotranspiração. Este resultado tem sido amplamente confirmado através da literatura, notadamente em condições de clima úmido, onde a advecção de calor sensível não constitui uma parcela significativa da energia disponível ao processo evaporativo (TANNER e PELTON, 1960; BAHRANI e TAYLOR, 1961; BAIER, 1965; SLATYER, 1967; ROSENBERG, 1969).

Os fatores de conversão próximos à unidade, encontrados no segundo estágio dos tratamentos com maior frequência de irrigação (2 e 3), refletem a precisão das estimativas, apresentada pelo método de Penman, quando as condições aproximaram-se, tanto quanto possíveis, daquelas preconizadas na definição de evapotranspiração potencial (PENMAN, 1948). Cabe mencionar que a cultura de batata não ocupou totalmente a superfície do solo, mes-

mo no estágio de maior desenvolvimento vegetativo das plantas, como pode ser observado nas FIGURAS 9, 10 e 11.

O tratamento 1, com irrigações mais espaçadas, - apresentou fatores de conversão relativamente menores, justificados, quando se considera a limitação da água do solo imposta ao - processo evaporativo, aliada ao menor desenvolvimento vegetativo - das plantas. DECKER (1962) empregando êste método, obteve grandes variações nas estimativas de evapotranspiração de uma cultura de milho, quando a superfície do solo apresentava-se mais sêca. Nestas condições, o valor estimado excedeu em até 70% o valor medido. Com a superfície do solo úmida, os desvios observados, sugeriam um modêlo de curva, semelhante aquela de distribuição normal.

Conforme indicam os resultados, êste método forneceu estimativas muito próximas dos valôres medidos no estágio - de maior exigência em água pela cultura, e em condições não limitantes de umidade no solo.

TOVEY e outros (1969) encontraram resultados semelhantes entre as determinações da evapotranspiração através de lisímetros e as estimativas pelo método de Penman, em base semanal, mensal ou estacional. Trabalhos conduzidos por STANHILL - (1961) revelaram que o método de Penman comportou-se como o mais preciso, entre vários métodos de estimativa comparados.

4.3.2 - Evapotranspiração medida versus estimada pelos métodos baseados na temperatura média.

Os coeficientes de correlação entre os dados de evapotranspiração medida e aquêles estimados pelos métodos que utilizam a temperatura média como parâmetro meteorológico principal foram inferiores, relativamente a outros métodos testados nêste trabalho.

Evapotranspiração medida (E) versus estimada pela fórmula de Thornthwaite (ET).

Tratamento	Estágio de crescim.	E média mm/dia	ET média mm/dia	Fator de conversão - k	Coef. de correlação - r
1	1º	2,22	1,79	1,24	0,690*
	2º	3,04	2,09	1,45	0,866**
	ciclo	2,60	1,93	1,35	0,806**
2	1º	2,34	1,79	1,31	0,568
	2º	3,74	2,09	1,78	0,883**
	ciclo	2,94	1,93	1,53	0,712**
3	1º	2,35	1,79	1,32	0,411
	2º	3,85	2,09	1,84	0,844*
	ciclo	2,98	1,93	1,55	0,622*

O método de Thornthwaite subestimou os valores medidos, nos três tratamentos, durante todo o ciclo de crescimento. Os desvios acentuaram-se nos períodos de maior exigência em água pela cultura dos tratamentos mais irrigados. Entretanto, DECKER (1962) empregando este método, encontrou estimativas precisas da evapotranspiração de uma cultura de milho, para longos períodos, nas condições climáticas de Missouri. Verificou que, em condições de superfície do solo úmida, houve uma menor variabilidade das estimativas, em relação aos valores medidos.

CAMARGO (1961) encontrou estimativas mensais, pela fórmula de Thornthwaite, muito próximas dos valores de evapotranspiração potencial medidos em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite modificado", vegetados com grama batatais. As diferenças com os resultados aqui obtidos podem ser atribuídas à maior exigência em água revelada pela cultura da batata, principalmente no estágio de maior desenvolvimento vegetativo das plantas e, às temperaturas médias relativamente mais baixas, aqui registradas durante o período experimental.

Evapotranspiração medida (E) versus fator de uso consuntivo (f) da fórmula de Blaney-Criddle.

Tratamento	Estágio de crescim.	E média mm/dia	f médio mm/dia	Fator de conversão - k	Coef. de correlação - r
1	1º	2,22	4,06	0,55	0,876**
	2º	3,04	4,45	0,68	0,953**
	ciclo	2,60	4,23	0,61	0,889**
2	1º	2,34	4,06	0,57	0,665*
	2º	3,74	4,45	0,84	0,946**
	ciclo	2,94	4,23	0,69	0,746**
3	1º	2,35	4,06	0,58	0,469
	2º	3,85	4,45	0,86	0,928**
	ciclo	2,98	4,23	0,70	0,658**

As estimativas obtidas empregando-se fator de uso consuntivo da fórmula de Blaney-Criddle excederam a evapotranspiração medida, nos três tratamentos, particularmente nos períodos integrantes do primeiro estágio de crescimento considerado. Os fatores de conversão ou coeficientes de uso consuntivo estacionais (K) encontrados nos tratamentos 2 e 3 (0,69 e 0,70, respectivamente), estão contidos no intervalo estabelecido por BLANEY e CRIDDLE (1966), cujos limites variam de 0,65, nos climas mais úmidos, a 0,75, nos mais áridos. Entretanto, são inferiores a 1,01 estabelecido por ERIE e outros (1968), para as condições climáticas do Arizona, nos Estados Unidos.

BLANEY (1955) admite que uma vez conhecido o coeficiente (K) para uma determinada cultura e local, pode-se estimar o uso consuntivo (U) desta cultura em outra área, aplicando-se a equação $U = K.F$, onde F, é o fator de uso consuntivo local.

PELTON e outros (1960) concluíram que a tempe-

ratura média apenas, não constitui uma medida adequada da energia disponível ao processo evaporativo. Atribuem ao atraso térmico, - como sendo o principal erro envolvido nas estimativas para curtos períodos. Ainda que ajustados às variações da radiação líquida - com a latitude, estes métodos também não consideram os efeitos das trocas de ar sobre a temperatura e sobre a superfície. De acordo com estes autores, a evapotranspiração e a temperatura são dependentes da radiação líquida, que apresenta uma baixa variabilidade, principalmente em períodos mais longos. Consequentemente, estas variáveis periódicas que estão razoavelmente em fase serão correlacionadas, mesmo que fisicamente não o sejam. Isto poderia explicar a elevada correlação verificada nos períodos analisados, notadamente aqueles incluídos no segundo estágio de crescimento - considerado.

4.3.4 - Evapotranspiração medida (E) versus radiação solar (Rs).

Tratamento	Estágio de crescim.	E média mm/dia	Rs média mm/dia	Fator de conversão - k	Coef. de correlação - r
1	1º	2,22	7,95	0,28	0,895**
	2º	3,04	8,96	0,34	0,758*
	ciclo	2,60	8,32	0,31	0,780**
2	1º	2,34	7,95	0,29	0,854**
	2º	3,74	8,96	0,42	0,835*
	ciclo	2,94	8,32	0,35	0,752**
3	1º	2,35	7,95	0,30	0,800**
	2º	3,85	8,96	0,43	0,805*
	ciclo	2,98	8,32	0,36	0,688**

A significância dos coeficientes de correlação - entre a evapotranspiração medida e a radiação solar, pode ser atribuída à elevada correlação existente entre esta, e a radiação -

líquida (FRITSCHEN,1967; TANNER,1968). Não havendo limitação de água pelo solo e nem transferência de calor advectivo do ar atmosférico para a cultura, a energia utilizada na evapotranspiração - representa uma elevada proporção da radiação líquida sobre a superfície (GRAHAM e KING,1961; TANNER e LEMON,1962; HANKS e outros, 1968).

Os fatores de conversão obtidos nos dois estágios de crescimento, em cada regime de umidade proporcionado à cultura, podem ser empregados para estimar a evapotranspiração em condições semelhantes, conhecendo-se apenas os dados locais de radiação solar, conforme estabelecem JENSEN e HAISE (1963). É um método simples e tem se revelado preciso para estimar a evapotranspiração a partir de relações pré-estabelecidas. NAMKEN e outros (1968) empregando este método, encontraram estimativas precisas de evapotranspiração, mesmo em períodos de 7 ou 14 dias, para uma cultura de algodoeiro, submetida a três regimes de umidade no solo; adequado, moderado e deficiente.

4.3.4 - Evapotranspiração medida (E) versus evaporação do tanque Classe A (Eo)

Tratamento	Estágio de crescim	E média mm/dia	Eo média mm/dia	Fator de conversão - k	Coef. de correlação - r
1	1º	2,22	4,01	0,55	0,919**
	2º	3,04	4,95	0,61	0,702
	ciclo	2,60	4,40	0,59	0,761**
2	1º	2,34	4,01	0,58	0,849**
	2º	3,74	4,95	0,75	0,821*
	ciclo	2,94	4,40	0,67	0,786**
3	1º	2,35	4,01	0,59	0,739*
	2º	3,85	4,95	0,78	0,762*
	ciclo	2,98	4,40	0,68	0,708**

A evaporação do tanque Classe A foi significativamente correlacionada à evapotranspiração medida, exceto no segundo estágio do tratamento 1. Este fato pode ser atribuído, provavelmente, à limitação da água do solo verificada nos períodos de maior exigência em água pelas plantas, o que provocou uma redução na intensidade de evapotranspiração.

A natureza deste método, em fornecer um valor integrado dos fatores meteorológicos envolvidos na evapotranspiração, pode explicar a elevada correlação observada, em condições mais adequadas de umidade no solo (FRITSCHEN e SHAW, 1961).

SCARDUA (1970) encontrou, para dois estágios de crescimento de uma cultura de milho, coeficientes médios de proporcionalidade entre a evapotranspiração real e a evaporação do tanque Classe A, variando de 0,55 nas parcelas não irrigadas, a 0,80, nas mais irrigadas. Seus resultados nos tratamentos com níveis mínimos de 50 e 60% de água disponível no solo, coincidem com aqueles aqui obtidos, respectivamente, nos níveis mínimos de 50 e 75%. No entanto, os valores obtidos em cada estágio individualmente, tiveram uma variação mais ampla que aqueles aqui apresentados.

Os fatores de conversão encontrados nos dois estágios dos tratamentos com maior frequência de irrigação (2 e 3), podem ser aplicados em condições semelhantes, para fornecer estimativas de evapotranspiração, bastando apenas conhecer os dados locais de evaporação do tanque Classe A. A simplicidade de equipamentos e técnicas requeridas por este método, parece justificar sua ampla utilização em diferentes condições de clima, solo e cultura, conforme revelam os trabalhos de DOSS e outros (1962, 1964), FUCHS e outros (1964) e TOVEY e outros (1969).

4.4 - Produção

A colheita, realizada no dia 21 de outubro de 1971, forneceu os dados anotados no QUADRO IX.

QUADRO IX - Produção em gramas por parcela

Bl.	Trat.	1	2	3	Totais			
I		4230	3980	3860	4770	5300	4860	27000
II		4270	4050	4710	5580	5400	6120	30130
III		4620	6240	5770	5690	6470	6090	34880
IV		4800	5900	7120	6580	6630	7200	38230
V		4800	5010	6310	6160	5840	6400	34520
VI		6240	5940	6690	7150	7150	7440	40610
Totais		60080	70390	74900			205370	

A análise de variância e o teste de Tukey aplicados aos dados de produção obtidos, revelaram os seguintes resultados:

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	5	21048900		
Tratamentos	2	9618500	4809250	24,48**
Resíduo	28	5500500	196446	
Total	35	36167900		
Médias	a.m.s.	C.V.		
$m_1 = 5006,67$	5% = 445,78	7,77%		
$m_2 = 5865,83$	1% = 569,67			
$m_3 = 6241,66$				

As produções totais alcançadas pelos tratamentos 2 e 3 foram estatisticamente superiores a do tratamento 1, ao nível de 1% de probabilidade. Assim, irrigações mais frequentes, impedindo que o solo atingisse níveis mais reduzidos de umidade, favoreceu a produção de tubérculos de batata. FULTON e MURWIN (1955) encontraram resultados de produção semelhantes, entre tratamentos com níveis mínimos de 75 e 50% de água disponível no solo. No entanto, atingindo níveis de 25%, a produção foi inferior aos níveis anteriores mais elevados.

4.4.1 - Relações com a evapotranspiração

A quantidade de água utilizada na evapotranspiração do tratamento 1, durante todo o ciclo de crescimento da cultura, revelou um valor relativamente menor que, nos tratamentos 2 e 3. Estes, no entanto, apresentaram uma pequena diferença entre si, como pode ser verificado abaixo:

Tratamento	Evapotranspiração em mm	
	ciclo de crescimento - 98 dias	média diária
1	254,4	2,60
2	288,0	2,94
3	292,0	2,98

A semelhança de comportamento entre este resultado e aquele encontrado para a produção total, permite estabelecer relações entre si. Assim, limitando o fornecimento de água à cultura, a razão de evapotranspiração assumiu um valor inferior àquêle que ocorreria em condições de umidade adequada, proporcionando o aparecimento de défices de água nas plantas, que poderiam ter reduzido a produção (VAADIA e outros, 1961; KRAMER, 1963).

A produção por unidade de água utilizada -

na evapotranspiração, introduzida como um índice de eficiência de uso d'água pela cultura, revelou os seguintes resultados:

Tratamento	Produção g	Evapotranspi- ração - mm	Prod./Evapotr. g/mm
1	60.080	254,4	236,2
2	70.390	288,0	244,4
3	74.900	292,0	256,5

A medida que o intervalo entre irrigações foi reduzido, observou-se um aumento na eficiência de uso d'água pela cultura ou seja, quantidades pequenas e frequentes de água aplicada foram mais eficientemente utilizadas na produção de tubérculos pelas plantas que, grandes quantidades, aplicadas a maiores intervalos de tempo.

De acôrdo com JENSEN e outros (1970), o intervalo entre irrigações têm um efeito mais pronunciado na produção que a quantidade de água aplicada.

4.4.2 - Classificação dos tubérculos

O valor comercial de tubérculos de batata, em nossas condições, varia de acôrdo com a classificação por tamanho, padronizada pela Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo. Baseado nisto, procedeu-se a uma separação dos tubérculos colhidos, de acôrdo com suas dimensões, utilizando-se peneiras, cujas malhas apresentavam as seguintes dimensões (BOOCK, 1963):

Tipo	Dimensões (mm)
Especial	50 x 50
Primeira	40 x 40
Segunda	33 x 33
Terceira	28 x 28
Quarta	23 x 23

O QUADRO X mostra os resultados encontrados nas classes mais representativas.

QUADRO X - Classificação da produção em gramas de tubérculos por tratamento.

Tipos Trat.	Especial	Primeira	Segunda	Terceira	Totais
1	39760	14305	3510	1060	58635
2	54010	11910	3440	900	70260
3	57860	13020	3160	780	74820
Totais	151630	39235	10110	2740	203715

A análise de variância e o teste de Tukey - aplicados aos dados de produção por parcela, dentro de cada classe, revelaram que a produção de tubérculos classificados como "especial", obtida nos tratamentos 2 e 3, foi significativamente superior a do tratamento 1, ao nível de 1% de probabilidade, com um coeficiente de variação de 12,7%. Não havendo diferenças significativas entre as demais categorias, pode-se admitir que a irrigação mais frequente favoreceu o desenvolvimento dos tubérculos, melhorando portanto, a qualidade do produto.

4.4.3 - Número de tubérculos

O número de tubérculos produzidos está registrado no QUADRO XI.

QUADRO XI -- Número de tubérculos produzidos por parcela

Bl.	Trat.	1	2	3	Totais			
I		104	96	98	113	115	111	637
II		121	97	81	132	132	115	678
III		98	116	105	104	108	106	637
IV		123	102	135	107	101	110	678
V		100	99	92	100	78	107	576
VI		99	109	111	101	120	105	645
Totais		1264	1279	1308	1308	1308	1308	3851

A análise de variância aplicada aos dados do QUADRO XI, revelou não haver diferenças significativas entre o número de tubérculos produzidos em cada tratamento. O coeficiente de variação foi 12,76%.

Baseado neste resultado, parece lógico admitir então, que as diferenças de produção estariam relacionadas às variações no desenvolvimento dos mesmos, o que pode ser comprovado pela análise de classificação efetuada. SCALOPPI e KIAR (1971) estudando este comportamento em cinco regimes de umidade, com níveis mínimos de água disponível variando de 10 a 90%, encontraram resultado semelhante.

Ao que parece, o número de tubérculos produzidos pelas plantas, tem revelado um comportamento relativamente independente dos intervalos de água disponível proporcionados à cultura. O efeito da irrigação tem sido muito mais evidenciado no desenvolvimento dos tubérculos, contribuindo portanto, para melhorar também a qualidade do produto e elevar assim,

o seu valor comercial.

5 - CONCLUSÕES

Nas condições do presente trabalho foi possível obter as seguintes conclusões:

1) A intensidade de evapotranspiração revelou ser dependente do regime de umidade do solo, estágio de crescimento das plantas e das condições climáticas.

2) Durante o ciclo de crescimento das plantas foram identificados dois estágios distintos, com relação à exigência em água pela cultura: o primeiro, compreendendo a emergência e o período inicial de crescimento das plantas, caracterizou-se por apresentar baixas intensidades de evapotranspiração, estendendo-se, aproximadamente, até aos 50 dias após o plantio e, o segundo, com intensidades de evapotranspiração mais elevadas, prolongou-se, aproximadamente, até aos 90 dias.

3) A intensidade de evapotranspiração aumentou a medida que se elevaram os níveis de água disponível no solo. Os valores médios assumidos nos três tratamentos foram 2,22, 2,34 e 2,35mm/dia no primeiro estágio e 3,04, 3,74 e 3,85mm/dia no segundo.

4) Os regimes de umidade com níveis mínimos de 50 - ou 75% de água disponível no solo comportaram-se de maneira seme-

lhante, quanto ao fornecimento de água para a evapotranspiração. Entretanto, atingindo 25%, a intensidade de evapotranspiração foi sensivelmente reduzida.

5) Os dados obtidos através dos cinco métodos estudados apresentaram correlações significativas com a evapotranspiração medida. Os coeficientes de correlação mais elevados foram obtidos, pela ordem, empregando-se os métodos de Penman, Radiação Solar, Tanque Classe A, Blaney-Criddle e Thornthwaite.

6) A fórmula de Penman forneceu as estimativas mais aproximadas dos valores medidos, principalmente, no segundo estágio dos tratamentos com níveis mais elevados de água disponível no solo, quando os fatores de conversão atingiram valores próximos à unidade.

7) A fórmula de Thornthwaite, subestimou os valores de evapotranspiração medida e, acentuadamente, no segundo estágio dos tratamentos com teores mais elevados de umidade no solo.

8) Os coeficientes de uso consuntivo, requeridos pelo método de Blaney-Criddle, aumentaram nos tratamentos com níveis mais elevados de água disponível no solo, assumindo valores médios de 0,55, 0,57 e 0,58 no primeiro estágio e 0,68, 0,84 e 0,86 no segundo.

9) Os fatores de conversão obtidos para a evapotranspiração e os dados de radiação solar foram tanto maiores quanto mais elevados os regimes de umidade no solo. Os valores encontrados no primeiro estágio foram 0,28, 0,29 e 0,30 e no segundo, 0,34, 0,42 e 0,43.

10) Os coeficientes de proporcionalidade entre a evapotranspiração medida e a evaporação do tanque Classe A assumiram valores de 0,55, 0,58 e 0,59 no primeiro estágio e 0,61, 0,75 e 0,78 no segundo, respectivamente, nos tratamentos com níveis mínimos de 25, 50 e 75% de água disponível no solo.

11) Todos os métodos estudados poderão ser utilizados para fornecer estimativas de evapotranspiração, em condições de clima, solo e planta semelhantes as deste trabalho, bastando apenas determinar os parâmetros meteorológicos locais requeridos pelo método escolhido e empregar as respectivas relações obtidas.

Os melhores resultados devem ser esperados em regimes mais elevados de unidade no solo.

12) Com excessão da fórmula de Penman, todos os métodos estudados são simples. As fórmulas de Thornthwaite e Blaney-Criddle apesar de utilizarem dados de temperatura média do ar, mais facilmente disponíveis, apresentaram a maior variabilidade entre todos os métodos estudados.

13) A irrigação mais frequente, procurando manter níveis de água disponível no solo superiores a 50%, favoreceu a produção de tubérculos de batata em relação aquela observada quando o nível era permitido atingir 25%.

14) As maiores produções foram atribuídas a maior proporção de tubérculos bem desenvolvidos (tipo especial) encontrada nos tratamentos mais irrigados, em relação aquela observada no tratamento menos frequentemente irrigado.

15) O número de tubérculos produzidos pelas plantas revelou ser uma característica relativamente independente dos três regimes de unidade estudados.

16) As maiores produções foram associadas às intensidades de evapotranspiração mais elevadas.

17) A produção por unidade de água utilizada na evapotranspiração aumentou a medida que o intervalo entre irrigações foi reduzido.

6 - RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo principal determinar a evapotranspiração de uma cultura de batata submetida a três regimes de umidade no solo e, correlacionar êstes valores, - com os dados de radiação solar, evaporação do tanque Classe A e - aquêles obtidos empregando-se as fórmulas de Penman, Thornthwaite e Blaney-Criddle. Paralelamente, foram analisadas as produções e estabelecidas suas relações com a evapotranspiração.

Para atender êstes objetivos, foi instalado um experimento em blocos casualizados, em um solo argiloso, localizado na Estação Experimental de Botucatu, Estado de São Paulo. Os tratamentos, denominados 1, 2 e 3, basearam-se em regimes de umidade - proporcionados à cultura através de irrigação, com níveis mínimos de água disponível no solo, respectivamente, de 25, 50 e 75%.

Os resultados revelaram a ocorrência de dois estágios distintos com relação à exigência em água pela cultura, os - quais, foram considerados individualmente nos estudos de correlação acima referidos. O primeiro, estendeu-se, aproximadamente - até aos 50 dias após o plantio, com valores médios de evapotranspiração de 2,22, 2,34 e 2,35mm/dia, respectivamente, nos tratamentos 1, 2 e 3. O segundo, prolongou-se até, aproximadamente, aos - 90 dias do plantio, com intensidades médias de evapotranspiração

de 3,04, 3,74 e 3,85mm/dia nos respectivos tratamentos.

Os dados obtidos nos diferentes períodos de cada estágio, através dos métodos estudados, foram significativamente correlacionados aos valores medidos. Os mais elevados coeficientes de correlação foram obtidos, pela ordem, através dos métodos de Penman, Radiação Solar, tanque Classe A, Blaney-Criddle e Thornthwaite.

A fórmula de Penman forneceu as estimativas mais aproximadas dos valores medidos, principalmente, no estágio de maior desenvolvimento vegetativo das plantas dos tratamentos com níveis mais elevados de água disponível no solo, enquanto que, nestas condições, a fórmula de Thornthwaite subestimou acentuadamente aqueles valores.

Os coeficientes de uso consuntivo da fórmula de Blaney-Criddle encontrados nos tratamentos 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 0,55, 0,57 e 0,58 no primeiro estágio e 0,68, 0,84 e 0,86 no segundo.

Os fatores de conversão obtidos nos tratamentos 1, 2 e 3 para a evapotranspiração e os dados de radiação solar foram, respectivamente, 0,28, 0,29 e 0,30 no primeiro estágio e 0,34, 0,42 e 0,43 no segundo.

Os coeficientes de proporcionalidade entre a evapotranspiração e a evaporação do tanque Classe A observados nos tratamentos 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 0,55, 0,58 e 0,59 no primeiro estágio e 0,61, 0,75 e 0,78 no segundo.

Em condições de clima, solo e planta semelhantes as deste trabalho, todos os métodos estudados poderão ser utilizados para fornecer estimativas de evapotranspiração, principalmente em regimes mais adequados de umidade no solo, bastando apenas determinar os parâmetros meteorológicos locais requeridos pelo método escolhido e empregar as respectivas relações obtidas. Com exceção da fórmula de Penman, os métodos são simples. A maior variabilidade foi observada naqueles baseados na temperatura média do ar.

As produções obtidas nos tratamentos 2 e 3 foram

significamente superiores a do tratamento 1, devido a maior proporção de tubérculos bem desenvolvidos encontrada naquêles tratamentos em relação aquela encontrada nêste. O número de tubérculos produzidos foi estatisticamente semelhante nos três regimes de unidade estudados.

Os tratamentos mais produtivos foram associados às intensidades de evapotranspiração mais elevadas. A produção por unidade de água utilizada na evapotranspiração, empregada como um índice de eficiência de uso d'água pela cultura, aumentou com a frequência de irrigação.

7 - SUMMARY

The major purposes of the present study were to measure the evapotranspiration in a potato field-crop under three soil moisture regimes and to correlate these values with solar radiation, Class A pan data and those obtained employing Penman's, Thornthwaite's and Blaney-Criddle's formulas.

A randomized block design experiment with 3 treatments and 12 replications was installed on a clay soil occurring at the Botucatu Experimental Station, State of Sao Paulo. The treatments named 1, 2 and 3 were three soil moisture regimes maintained through irrigation, with the following levels of available soil water: 25, 50 and 75%, respectively.

The yield of potato tubers was analysed and its relationship to the evapotranspiration data estimated.

Two stages of water requirement by the potato plant were recognized for the study of the relationship between measured evapotranspiration and that obtained for Penman's formula. The correlation studies for the above mentioned methods for estimating evapotranspiration were conducted individually for these two stages.

The first stage extended from date of planting to approximately the 50th day after planting. The mean evapotranspiration

values obtained in the first stage for treatments 1, 2 and 3 were 2.22, 2.34 and 2.35mm/day, respectively. The second stage extended through the 90th day after planting, approximately. Mean evapotranspiration values for the second stage were 3.04, 3.74 and 3.85mm/day for the 3 treatments, respectively.

The values obtained for the methods studied were significantly correlated to the measured values in the various periods comprised in each of the stages considered. The highest correlation coefficient was obtained for Penman's method, followed by Solar Radiation, Class A pan, Blaney-Criddle and Thornthwaite methods.

Penman's formula supplied the best estimates, mainly in the second stage of the treatments with higher levels of available soil water, whereas Thornthwaite's formula markedly underestimated the measured values.

The consumptive use coefficients found for the treatments 1, 2 and 3 for the Blaney-Criddle's formula were, respectively, 0.55, 0.57 and 0.58 for the first stage and 0.68, 0.84 and 0.86 for the second stage.

The conversion factors for the measured evapotranspiration and solar radiation data for treatments 1, 2 and 3 were, respectively 0.28, 0.29 and 0.30 for the first stage and 0.34, 0.42 and 0.43 for the second stage.

The proportionality coefficients for the measured evapotranspiration and Class A pan evaporation for treatments 1, 2 and 3 were, respectively, 0.55, 0.58 and 0.59 for the first stage and 0.61, 0.75 and 0.78 for the second stage.

Under conditions of climate, soil water regime and plant, similar to those in this study and by determining the local meteorological parameters required by the respective methods, all the methods studied may be used to estimate evapotranspiration. Either of the conversion factors obtained for the two stages considered may be used in the calculations.

The yields obtained for treatments 2 and 3 were significantly higher than that obtained for treatment 1. This was due to a greater proportion of well developed tubers in those treatments,

since the number of tubers in the three water regimes studied was not statistically different.

The highest yield were associated with higher evapotranspiration intensities. The ratio yield/evapotranspiration water, introduced as an index of water use efficiency increased in treatments more frequently irrigated.

8 - BIBLIOGRAFIA CITADA (*)

ABDEL-AZIZ, M.H., TAYLOR, S.A. e ASHCROFT, G.L. Influence of advective energy on transpiration. Agron.J. 56(2):139 - 142. 1964

ALLMARAS, R.R. e GARDNER, C.O. Soil sampling for moisture determinations on irrigations experiments. Agron.J. 48 (1): 15 - 17. 1956

BAHRANI, B. e TAYLOR, S.A. Influence of soil moisture potential and evaporative demand on the actual evapotranspiration from an alfalfa field. Agron.J. 53(4):233 - 236. 1961

The interrelationship of meteorological factors, soil moisture and plant growth. Int.J.Biomet. 9(1):5 - 20. 1965

BAVEL, C.H.M. Van. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the Eastern United States. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 25(2): 133 - 141. 1961

_____ e MYERS, L.E. An automatic weighing lysimeter. Agric. Engng 43:580 - 583, 586 - 588. 1962

BLANEY, H.F. Climate as an index of irrigation needs. Yb.-Agric. U.S. Dep. Agric.: Water. 341 - 345. 1955

_____ e CRIDDIE, W.D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Tech. Publs Soil Conserv. Serv. 96. 1950. 48p.

_____ Determining consumptive use for water planning development. Wat. Resour. Center, Univ. Calif., 1966. 35p.

BOOCK, O.J. Instruções para a cultura da batatinha. Bolm - téc. Inst. agron. Est. Campinas 128. 1963. 68p.

- CAMARGO, A.P. O balanço hídrico no Estado de São Paulo. Bolm téc. Inst. agron. Est. Campinas 116. 1960. 15p.
- _____ Contribuição para a determinação da evapotranspi-
ração potencial no Estado de São Paulo. Tese de doutora-
mento apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ.
São Paulo. 1961. 49p. mimeogr.
- CARVALHO DIAS, C.A. Cultura da batata. Bolm téc. Inst.
agron. Est. Campinas 17. 1968.
- CRIDDLE, W.D. Consumptive use of water and irrigation
requirements. J. Soil Wat. Conserv. 8:207-212, 243.
1953
- DECKER, W.L. Precision of estimates of evapotranspiration
in Missouri climate. Agron. J. 54(6): 529 - 531. 1962
- DENMEAD, O.T. e McILROY, I.C. Measurements of non-potential
evaporation from wheat. Agric. Met. 7:285 - 302.
1970
- _____ e SHAW, R.T. Availability of soil water to plants
as affected by soil moisture content and meteorological
conditions. Agron. J. 54(5): 385 - 390. 1962
- DOSS, B.D., BENNETT, O.L. e ASHLEY, D.A. Moisture use by
forage species as related to pan evaporation and net
radiation. Soil Sci. 98(5): 322 - 327. 1964
- DYER, A.J. The turbulent transport of heat and water
vapour in an unstable atmosphere. Q. Jl R. met. Soc. 93
(398): 501 - 508
- EAGLEMAN, J.R. e DECKER, W.L. The role of soil moisture in
evapotranspiration. Agron. J. 57(6): 626 - 629. 1965.
- ERIE, L.J., FRENCH, O.F. e HARRIS, K. Consumptive use of
water by crops in Arizona. Tech. Bull. Ariz. agric. Exp. -
Stn 169, Univ. Nebr. 1968. 46p.

- FRITSCHEN, L.J. Net and solar radiations over irrigated -
field crops. Agric.Met. 4:55 - 62. 1967
- _____ e SHAW, R.H. Evapotranspiration for corn as re-
lated to pan evaporation. Agron.J. 53(3): 149 - 150. -
1961
- _____ e BAVEL, C.H.M.Van. Energy balance as affected by
height and maturity of Sudangrass. Agron.J. 56(2):201-
204. 1964
- FUCHS, M., HAUSENBERG, I. e STANHILL, G. A field test of the
control of cotton irrigation practice from class A pan -
data. Israel J.agric. Res. 14(4):237 - 239. 1964
- _____ e STANHILL, G. The use of class A evaporation pan
data to estimate the irrigation water requirement of the
cotton crop. Israel J.agric.Res. 13(2):63 - 78. 1963
- FULTON, J.M. e MURWIN, H.F. The relationship between
available soil moisture levels and potato yields. Can.-
J.agric.Sci. 35:552 - 556. 1955
- GARDNER, W.R. e EHLIG, C.F. The influence of soil water on
transpiration by plants. J.geophys.Res. 68(20):5719 -
5724. 1963
- GAVANDE, S.A. e TAYLOR, S.A. Influence of soil water
potential and atmospheric evaporative demand on
transpiration and the energy status of water in plants.
Agron. J. 59(1):4 - 7. 1967
- GRAHAM, W.G. e KING, K.K. Fraction of net radiation
utilized in evapotranspiration from a corn crop. Proc.-
Soil Sci.Soc.Am. 25(3):158-160. 1961
- HALSTEAD, M. e COVEY, W. Some meteorological aspects of
evapotranspiration. Proc.Soil Sci.Am. 21(5):461 - 464.
1957.

- HANKS, R. J., GARDNER, H. R. e FLORIAN, R. L. Evapotranspiration - climate relations for several crops in the Central - Great Plains. Agron. J. 60(5): 538 - 542. 1968
- JENSEN, M. C. e HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration - from solar radiation. J. Irrig. Drain. Div. A, Soc. civ. Engrs 89(IR4):15 - 41. 1963
- JENSEN, M. E., ROBB, D. C. N. e FRANZOY, C. E. Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. J. Irrig. Drain. Div. - Am. Soc. civ. Engrs 96(IR1):25-38. 1970
- KING, K. M. Effect of soil, plant and meteorological factors on evapotranspiration. Publ. R. met. Soc. Can. Br. - 8(4):1 - 10. 1957
- KRAMER, P. J. Tension of moisture and plant growth. Agron. J. 55(1): 31 - 35. 1963
- LEMON, E. R., GLASER, A. H. e SATTERWHITE, L. E. Some aspects - of the relationship of soil, plant and meteorological - factors to evapotranspiration. Proc. Soil Sci. Soc. Am. - 21(5):464 - 468. 1957
- LINACRE, E. T. Estimating the net radiation flux. Agric. - Met. 5:49 - 63. 1968
- LIS, B. R. de, PONCE, I e TIZIO, R. Studies on water requirements of horticultural crops. I. Influence of drought at different growth stages of potato on tuber's yield. Agron. J. 56(5):377 - 381. 1964
- MAKKINK, G. F. e HEEMST, H. D. J. Van. The actual evapotranspiration as a function of the potential evapotranspiration and the soil moisture tension. Neth. J. Agric. Sci. 4:57 - 72. 1956
- MARLATT, W. E., HAVENS, A. V., WILLITS, N. A. e BRILL, G. D. A comparison of computed and measured soil moisture under snap beans. J. geophys. Res. 66(2):535 - 541. 1961

- McILROY, I.C. e SUMNER, C.J. A sensitive high-capacity balance for continuous automatic weighing in the field. J. agric. Engng Res. 6:252 - 258. 1961
- NAMKEN, L.N., GERARD, C.J. e BROWN, R.G. Evapotranspiration - of cotton and estimation methods. Agron. J. 60(1):4 - 7. 1968
- OLIVEIRA, A.S. Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman. Tese de - Livre-Docência apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ. São Paulo. 1971. 9lp. mimeogr.
- OMETTO, J.C. Estudo das relações entre: radiação solar - global, radiação líquida e insolação. Tese de doutora - mento apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ. - São Paulo. 1968. 64p. mimeogr.
- PALMER, W.C. e HAVENS, A.V. A graphical technique for determining evapotranspiration by the Thornthwaite method. Mon. Weath. Rev. U.S. Dep. Agric. 86:123 - 128. 1958
- PASQUILL, F. Some further considerations of the measurement and indirect evaluation of natural evaporation. Q. Jl. R. met. Soc. 76:287 - 301. 1950
- PELTON, W.L., KING, K.M. e TANNER, C.B. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. Agron. J. 52(5):387 - 395. 1960
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Serie A. 193: 120 - 145.- 1948
- _____ Evaporation: An introductory survey. Neth. J. - agric. Sci. 4:9 - 29. 1956a

- _____ Estimating evaporation. Trans.Am.geophys.Un.
37: 43 - 46. 1956b
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 4^a
ed. São Paulo, Livraria Nobel, 1970. 430p.
- PRUITT, W.O. e ANGUS, D.E. Large weighing lysimeter for -
measurement evapotranspiration. Trans.Am.Soc.agric. --
Engrs 3(2):13 - 18. 1960
- PURVIS, J.C. Graphical solution of the Penman equation for
potential evapotranspiration. Mon.Weath.Rev.U.S.Dep. --
Agric. 89:192 - 196. 1961
- RICHARDS, L.A. Pressure-membrane apparatus, construction -
and use. Agric.Engng 28:451 - 454,460. 1947
- _____ Methods of measuring soil moisture tension. Soil
Sci. 68:95 - 112. 1949
- ROBINS, J.S. e HAISE, H.R. Determination of consumptive use
of water by irrigated crops in the Western United States.
Proc.Soil Sci.Soc.Am. 25():150 - 154. 1961
- ROSENBERG, N.J. Seasonal patterns in evapotranspiration -
by irrigated alfalfa in the Central Great Plains. Agron.
J. 61(6):879 - 886. 1969
- _____, HART, H.E. e BROWN, K.W. Evapotranspiration:
Review of Research. Tech.Bull.Nebr.agric.Exp.Stn MP 20,-
Univ.Nebr. 1968. 78p.
- SCALIOPI, E.J. e KLAR, A.E. A influência da irrigação e adu-
bação no rendimento e tamanho de tubérculos de batata
(Solanum tuberosum, L.) In Reunião Anual da Sociedade de
Olericultura do Brasil.11. Piracicaba, 1971.

SCARDUA, R. Evapotranspiração real da cultura do milho como base aos projetos de irrigação. Tese de doutoramento apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ. São Paulo. 1970. 160p. mimeogr.

SCHLEUSENER, P.E., NEMETHY, J.J., SHULL, H.H. e WILLIAMS, G.E. Pasture irrigation requirements calculated from climatological data. Trans. Am. Soc. agric. Engrs 4(1):6 - 7, 11. 1961

SHEPPARD, P.A. Transfer across the Earth's surface and through the air above. Q. Jl R. met. Soc. 84(361):205 - 224. 1958

SLATYER, R.O. Plant-water relationship. New York, Academic press, 1967. 366p.

SOMMERIALDER, B.R. Design criteria for irrigating corn. Agric. Engng 43:336 - 339, 348. 1962

STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. Israel J. agric. Res. 11(3-4):159 - 171. 1961

SWINBANK, W.C. e DYER, A.J. An experimental study in micrometeorology. Q. Jl R. met. Soc. 93(398):494 - 500. 1967

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 24(1):1 - 8. 1960

_____ Measurement of evapotranspiration. Agronomy. -
11:534 - 574. 1967

_____ Evaporation of water from plants and soil In -
Kozlowski, T.T. ed. Water deficits and plant growth (vol. 1). New York, Academic press, 1968. p.73 - 106

- _____ e LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. Agron.J. 54(3):207 - 212. 1962
- _____ e PELTON, W.L. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. J.geophys.Res. 65(10):3391 - 3413. 1960
- _____, PETERSON, A.E. e LOVE, J.R. Radiant energy exchange in a corn field. Agron.J. 52(5):373 - 379. 1960
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr Rev. 38(1):55 - 94. 1948
- _____ e HOLZMAN, B. Measurement of evaporation from land and water surface. Tech.Bull.U.S.Dep.Agric. 817. 1942. 75p.
- TOVEY, R., SPENCER, J.S. e MUCKEL, D.C. Turfgrass evapotranspiration. Agron.J. 61(6):863 - 867. 1969
- VAADIA, Y., RANEY, F.C. e HAGAN, R.M. Plant water deficits - and physiological processes. A.Rev.Pl.Physiol. 12:265-292. 1961
- VISSER, W.C. Moisture requirements of crops and rate of moisture depletion of the soil. Tech.Bull.Inst.Land Wat.Manag.Res. 32, Wageningen, 1964. 21p.
- WIJK, W.R.Van e VRIES, D.A. de. Evapotranspiration. Neth. J.agric.Sci. 2:105 - 119. 1954
- WRIGHT, J.L. e BROWN, K.W. Comparison of momentum and energy balance methods of computing vertical transfer - within a crop. Agron.J. 59(5):427 - 432. 1967
- (*) Abreviaturas de acôrdo com: "World List of Scientific Periodicals: 1900-1960". 4th ed. London, Butterworths, - 1963-1965. 3 vol.

9 - APÉNDICE

QUADRO 1 - Dados meteorológicos dos dias 25 a 30 do mês de junho e do mês de julho - 1971.

Data	Radiação Solar cal/cm ²	Temp. Média °C	Preci- pit. mm	Umid. Relat. %	Inso- lação hs	Evapor. Clas. A mm	Veloc. Vento Km/dia
junho							
25		20,6		77,6	9,65	3,78	100
26		20,3		78,2	9,65		89
27		20,1		76,1	8,80	3,92	114
28		20,4		76,0	9,45	4,00	89
29		19,8		78,3	5,75	3,46	65
30	427	19,6		70,9	8,55	4,52	110
julho							
1	233	18,4		78,5	3,05	4,52	203
2	245	17,0		87,9	3,15	3,96	277
3	451	18,5	4,5	85,2	6,85	4,32	142
4	134	18,0	22,0	85,9	1,60	-	130
5	242	15,3		85,4	3,70	2,19	167
6	511	10,8		73,2	9,50	4,08	102
7	511	11,2		77,4	9,65	4,27	271
8	469	15,0		81,1	8,20	3,45	215
9	469	17,5		73,8	8,25	4,18	129
10	456	18,9		68,7	9,40	-	167
11	452	18,3		68,9	9,60	4,90	205
12	506	17,7		74,5	9,70	4,60	127
13	475	18,5		71,8	9,80	3,96	99
14	494	19,4		73,6	9,40	3,45	57
15	468	16,9		82,3	9,40	3,95	163
16	504	16,7		77,3	9,70	4,28	200
17	492	16,5		79,1	9,70	4,40	156
18	485	18,0		75,7	8,75	4,40	109
19	428	17,5		73,1	9,60	4,14	98
20	498	16,9		68,8	9,60	4,52	86
21	472	16,9		71,3	9,70	3,96	75
22	480	16,0			9,80	4,18	75
23	497	16,2			9,70		115
24	277	17,5			9,80	3,26	99
25	491	19,5			9,70		129
26	443	19,8		57,6	9,25	3,96	151
27	240	18,9		83,9	0,90	2,73	88
28	378	20,2	1,8	72,9	9,10	3,52	102
29	364	19,6		77,9	2,70		148
30	254	16,1	6,0	88,3	1,80	1,47	116
31	443	17,5	14,5	84,4	8,50	4,52	122

QUADRO 2 - Dados meteorológicos do mês de agosto - 1971

Data	Radiação Solar cal/cm ²	Temp. Média °C	Preci- pit. mm	Umíd. Relat. %	Inso- lação hs	Evapor. Clas. mm	Veloc. A Vento Km/dia
1	572	16,4		80,2	9,10	4,00	104
2	583	19,2		78,7	9,80	4,03	157
3	541	19,5		72,6	9,30	4,46	88
4	497	20,1		65,4	9,30	4,34	98
5	517	23,3		63,0	9,60	5,51	107
6	542	20,4		69,4	9,75	4,44	111
7	227	20,8		76,9	1,65	1,27	224
8	575	18,5	3,8	71,3	9,90	3,73	129
9	504	20,9		65,6	7,55	4,23	124
10	424	19,3		82,9	5,65	5,07	218
11	502	19,4	9,7	79,0	7,85	3,36	199
12	509	21,3		66,8	9,30	4,73	95
13	475	21,6		72,5	8,55	6,28	201
14	279	16,2		88,7	1,75	1,69	146
15	457	15,0		79,8	6,75	3,28	172
16	601	14,4		79,3	10,00	4,53	229
17	612	15,5		77,4	9,75	4,04	217
18	593	18,1		73,0	9,85	4,95	170
19	616	20,5		68,1	7,65	4,99	112
20	591	20,4		60,0	10,00	6,22	132
21	613	19,3		62,0	10,10	5,13	106
22	561	20,2		59,0	10,20	5,48	126
23	534	20,9		56,4	10,00	5,62	130
24	536	20,6		62,9	7,80	5,22	183
25	376	16,5		83,1	2,50	1,88	339
26	472	15,9		83,9	5,60	1,34	326
27	546	15,3		78,0	9,75	5,04	306
28	557	16,6		74,1	10,10	5,61	287
29	610	17,9		74,2	8,65	5,97	305
30	600	15,7		71,0	10,00	6,99	314
31	607	16,6		72,9	9,50	6,74	281

QUADRO 3 - Dados meteorológicos do mês de setembro - 1971

Data	Radiação Solar cal/cm ²	Temp. Média °C	Preci- pit. mm	Umid. Relat. %	Inso- lação hs	Evapor. Clas. A mm	Veloc. Vento Km/dia
1	623	18,8		73,8	9,70	5,30	257
2	634	19,3		75,1	9,70	6,04	255
3	668	19,1		72,8	10,10	5,39	195
4	575	18,0		69,1	9,90	5,23	110
5	480	17,9		67,4	7,30	5,48	128
6	277	20,0	28,0	76,7	1,90	1,79	152
7	388	17,7		84,4	3,80	3,13	241
8	106	13,8	3,5	94,7	0,00	0,29	249
9	620	15,8		82,1	9,00	4,81	271
10	483	16,8	4,0	79,8	6,10	4,35	226
11	202	13,7	3,6	89,7	0,35	0,08	226
12	368	16,5		87,2	0,95	2,87	267
13	621	17,4		79,6	9,70	5,90	227
14		18,0		78,2	6,90	4,64	160
15		18,8		69,6	10,90	5,55	120
16		19,6		62,1	10,70	7,51	129
17		21,0		60,0	10,20	7,34	143
18		20,9		56,3	10,60	6,72	108
19		22,1		53,1	10,50	7,25	108
20	662	24,1		49,1	10,80	8,12	123
21	658	25,7		50,0	10,40	8,64	103
22	581	25,7		56,8	8,75	8,96	194
23	478	21,8		77,8	4,40	4,66	270
24	197	16,1	1,8	95,3	0,00	1,30	90
25	249	17,0	4,5	93,5	4,65	0,00	137
26	485	18,7	2,4	85,4	0,00	4,68	174
27	568	20,9		75,8	5,00	5,38	144
28	399	20,0		79,8	4,95	2,75	98
29	565	21,9	8,7	75,2	6,80	5,95	122
30	517	22,1	0,3	72,7	7,00	7,57	168

QUADRO 4 - Nomograma para cálculo da evapotranspiração potencial, não ajustada, pela fórmula de Thornthwaite.

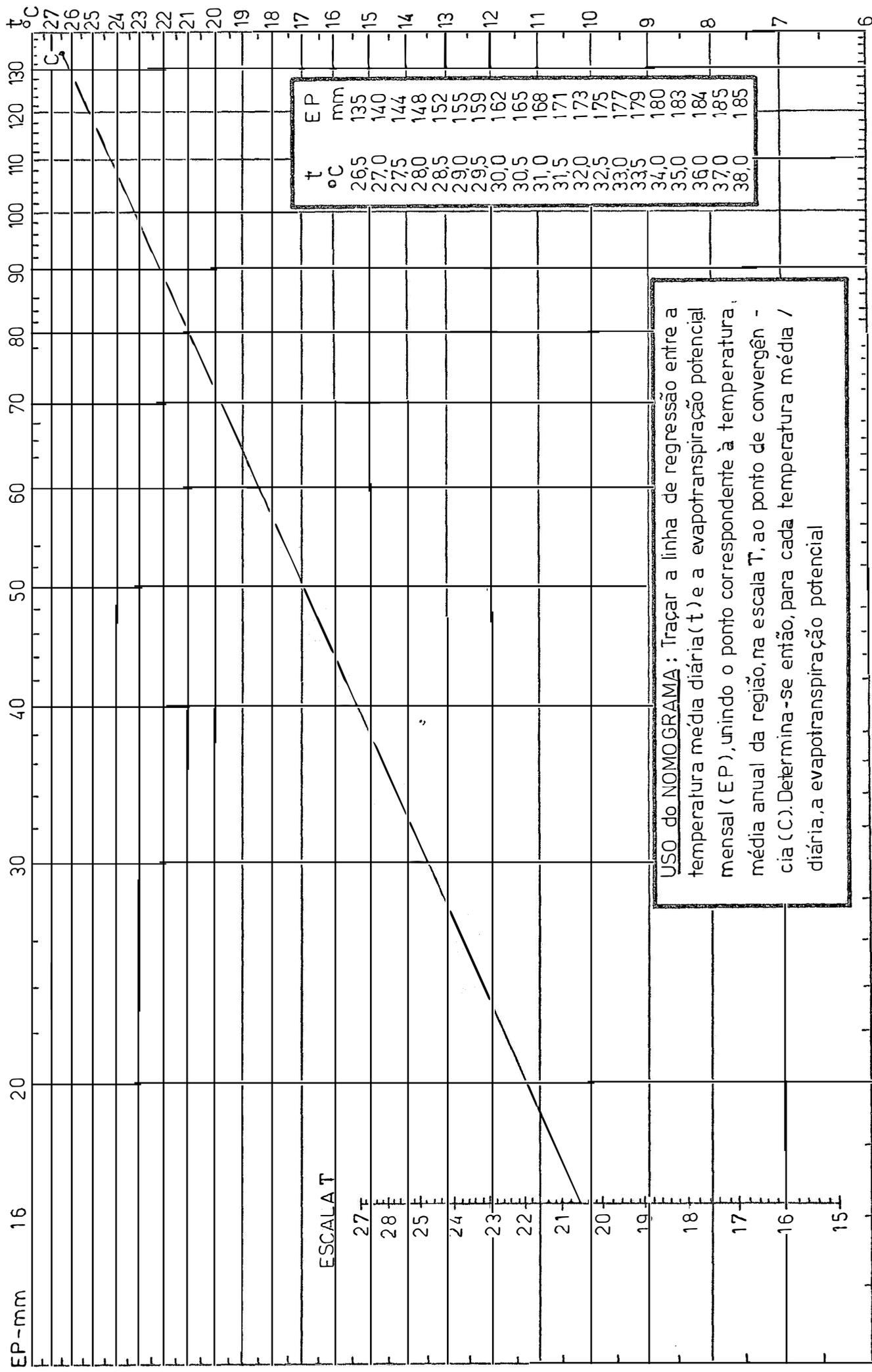


TABELA 1 - Valores de Δ/γ entre 1°C e 40°C, para o cálculo da evapotranspiração potencial pelo método de Penman.

$$\Delta = \frac{e_s - e'_s}{t_s - t'_s} \approx \frac{d_e}{d_t}$$

$$\gamma = 0,5 \text{ mmHg/}^\circ\text{C}$$

t	Δ/γ	t	Δ/γ	t	Δ/γ	t	Δ/γ
1	0,6	11	1,4	21	2,2	31	4,0
2	0,8	12	1,4	22	2,4	32	4,2
3	0,8	13	1,6	23	2,6	33	4,2
4	0,8	14	1,6	24	2,6	34	4,4
5	1,0	15	1,6	25	2,8	35	4,6
6	1,0	16	1,8	26	3,0	36	5,2
7	1,2	17	1,8	27	3,2	37	5,2
8	1,2	18	2,0	28	3,2	38	5,4
9	1,2	19	2,0	29	3,6	39	5,6
10	1,2	20	2,0	30	3,8	40	5,8

TABELA 2 - Tensão máxima do vapor (e_s), sôbre água, em mm de Hg

(°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,30	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,73	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	52,16
39	52,44	52,73	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,16	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,05	70,41	70,77	71,14	71,51

Fonte: Dados transcritos das tabelas psicrométricas de SERRA. A e SEREBRENICK. S. - 1961.

TABELA 3 - VALORES DE N -

Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10 graus norte e 40 graus - sul. Os valores correspondem ao 15º dia de cada mês.

LATIT.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10° N	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5
8° N	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6
6° N	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7
4° N	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,2	12,0	12,0	11,9	11,9
2° N	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0
Equador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2° S	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4° S	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6° S	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8° S	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10° S	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
12° S	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14° S	12,8	12,6	12,2	11,8	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18° S	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24° S	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26° S	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30° S	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32° S	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34° S	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36° S	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6
38° S	14,5	13,5	12,4	11,1	10,1	9,5	9,8	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8
40° S	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,1	14,3	15,0

FONTE: Dados interpolados de Smithsonian Meteorological Tables, 6a. ed., 1951, tabela 171.

TABELA 4 - Porcentagem mensal de horas possíveis de insolação em relação ao total anual. Valores de p empregados na equação de Blaney-Criddle para o cálculo do uso consuntivo, para as latitudes compreendidas entre 10 graus norte e 40 - graus sul.

Lat.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
10°N	8,15	7,47	8,46	8,42	8,80	8,62	8,82	8,69	8,28	8,35	7,90	8,04
8°	8,20	7,50	8,47	8,38	8,75	8,55	8,77	8,65	8,27	8,37	7,96	8,13
6°	8,28	7,54	8,47	8,34	8,69	8,47	8,70	8,52	8,25	8,40	8,03	8,21
4°	8,35	7,59	8,47	8,30	8,69	8,39	8,63	8,58	8,24	8,43	8,09	8,30
2°	8,43	7,63	8,48	8,26	8,57	8,30	8,56	8,55	8,23	8,46	8,15	8,40
Equ.	8,50	7,65	8,48	8,23	8,50	8,22	8,49	8,51	8,22	8,48	8,12	8,49
2°S	8,57	7,70	8,49	8,20	8,43	8,16	8,42	8,45	8,21	8,51	8,29	8,57
4°	8,63	7,74	8,50	8,17	8,38	8,06	8,35	8,41	8,20	8,55	8,35	8,56
6°	8,69	7,79	8,51	8,13	8,32	7,98	8,27	8,37	8,20	8,58	8,42	8,74
8°	8,77	7,83	8,52	8,09	8,27	7,89	8,20	8,33	8,19	8,60	8,49	8,82
10°	8,82	7,88	8,53	8,06	8,20	7,82	8,14	8,23	8,18	8,63	8,56	8,90
12°	8,90	7,92	8,54	8,02	8,14	7,75	8,06	8,22	8,17	8,67	8,63	8,98
14°	8,98	7,98	8,55	7,99	8,06	7,68	7,96	8,18	8,16	8,69	8,70	9,07
16°	9,08	8,00	8,56	7,97	7,99	7,61	7,89	8,12	8,15	8,71	8,76	9,16
18°	9,17	8,04	8,57	7,94	7,95	7,52	7,79	8,08	8,13	8,75	8,83	9,23
20°	9,26	8,08	8,58	7,89	7,88	7,43	7,71	8,02	8,12	8,79	8,91	9,33
22°	9,35	8,12	8,59	7,86	7,75	7,33	7,62	7,95	8,11	8,83	8,97	9,42
24°	9,44	8,17	8,60	7,83	7,64	7,24	7,54	7,90	8,10	8,87	9,04	9,53
26°	9,55	8,22	8,63	7,81	7,56	7,14	7,46	7,84	8,10	8,91	9,15	9,66
28°	9,65	8,27	8,63	7,78	7,49	7,04	7,38	7,78	8,08	8,95	9,20	9,76
30°	9,75	8,32	8,64	7,73	7,44	6,93	7,28	7,70	8,07	8,79	9,26	9,88
32°	9,85	8,37	8,66	7,70	7,36	6,88	7,18	7,62	8,06	9,03	9,35	10,00
34°	9,96	8,43	8,67	7,65	7,25	6,70	7,08	7,55	8,05	9,07	9,44	10,14
36°	10,07	8,50	8,68	7,62	7,14	6,58	6,98	7,48	8,04	9,12	9,53	10,26
38°	10,18	8,56	8,69	7,58	7,06	6,46	6,87	7,41	8,03	9,15	9,62	10,39
40°	10,32	8,62	8,71	7,54	6,93	6,33	6,75	7,33	8,02	9,20	9,71	10,54

FONTE: Dados interpolados e calculados de Smithsonian Meteorological Tables (1951) por CAMARGO (1961).